
VRA-TEKNIIKAN HYÖDYNTÄMINEN SUOMESSA



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö
Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma
Mustiala, 18.5.2012

Tage Stam



Mustiala
Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma
Maatilatalous

Tekijä	Tage Stam	Vuosi 2012
Työn nimi	VRA- tekniikan hyödyntäminen Suomessa	

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on selventää VRA-tekniikan, eli määränsäätöautomaatiikan toimintaedellytyksiä Suomessa. Aiheessa edetään alkaen maan rakenteesta, ravinnetaseiden vaihteluista, täsmäviljelyn ja määränsäätöautomaatiikan ratkaisuksista ja lopuksi esitetään VRA-tekniikan investointikustannuksia. Työn toimeksiantaja on Geotrim Oy.

Ravinnetaseiden vaihtelu peltolohkojen sisällä voi olla suurta. Toisilla alueilla satopotentiaalia hukataan, koska ravinteita jaetaan liian vähän. Toisilla alueilla taas ravinteita jaetaan liikaa sadontuottokykyyn verrattuna, jolloin ravinteet ovat alttiina huuhtoutumiselle. Täsmäviljelytekniikka auttaa tunnistamaan vaihtelut peltolohkojen sisällä, ja antaa työkalut vaihtelun mukaisen viljelyn toteuttamiselle. Täsmäviljelyn avainasemassa on paikkatieto. Paikkatiedon laitteisto ja tekniikka yleistyvät ja ovat nyt jo hinta/laatusuhteeltaan suomalaisen viljelijän tavoitettavissa.

Määränsäätöautomaatiikka on osa täsmäviljelyä. Lannoitteenlevitykseen meillä on käytettävissä kaksi eri tekniikkaa: karttapohjaan perustuva ja sensoritoimintaan perustuva. Määränsäädön toteuttamiselle on olemassa useita eri vaihtoehtoja, ja mikä millekin maatilalle sopii, riippuu pitkälti lohkojen vaihtelun suuruudesta ja kokonaispinta-alasta. Määränsäätöautomaatiikalla pystytään säästämään lannoitekustannuksissa satotason heikentymättä.

Ympäristön kannalta vesistöjen rehevöitymiseen ja ravinteiden huuhtoutumiseen pitäisi maataloudessa saada kestävämpiä ratkaisuja. Täsmäviljely ja määränsäätöautomaatiikka on yksi mahdollisuus vähentää ravinteiden huuhtoutumisriskiä.

Avainsanat VRA, määränsäätöautomaatiikka, täsmäviljely, GPS, satelliittitekniikka

Sivut 33 s.

Mustiala
Degree programme in Agriculture and Rural Industries
Agriculture Option

Author	Tage Stam	Year 2012
Subject of Bachelor's thesis	The utilization of VRA-technology in Finland	

ABSTRACT

This bachelor's thesis is meant to clarify VRA-technology, and the utilization of variable rate applications in Finland. The beginning of the thesis contains matters like the structure of the soil and variations of nutrient balances within fields. Precision farming and variable rate applications are considered in the latter part of the thesis. At the end there are also some examples about investment costs of this kind of equipment. This bachelor's thesis is made for Geotrim Oy.

Variation of nutrient balance within a field can be very large. In other areas yield potential is lost because of too little fertilizer. In other areas again, too much fertilizing is given, and the nutrients face risk of ending up in nature and waterways. Precision farming helps to determinate the different areas, and gives the tools to carry out the farming regarding to those areas. Spatial accuracy and positioning are in a key role in precision farming. Spatial equipment is becoming more common all the time, and the price is neither an issue anymore for a Finnish farmer.

Variable rate applications are a part of precision farming. In fertilizing there are two available technologies: map-based and sensor-based. There are many different ways to do VRA, and what way is best for what kind of farm, depends on the amount of variation within fields, and on the total amount of field area. With VRA, you can save on your fertilizing costs, but don't need to lose yield potential.

Regarding to nature, we need to get more sustainable solutions to stop the nutrient leaching to waterways. Precision farming and VRA are one possible solution to reduce eutrophication of waterways.

Keywords VRA, rate and section control, precision farming, GPS, Satellite systems

Pages 33 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	SUOMEN MAATALOUDEN KEHITYS	2
2.1	Viljelty maisema osana Suomen luontoa	2
2.2	Maatalousympäristön biologinen monimuotoisuus	3
3	MAAPERÄN VAIKUTUS VILJELYSSÄ.....	6
3.1	Ravinnetaseiden ja sadon vaihtelu pellon sisällä	8
4	SATELLIITTITEKNIikka	9
4.1	Paikantaminen	10
4.2	Satelliittipaikannusjärjestelmät	10
4.2.1	GPS.....	10
4.2.2	Glionass	11
4.2.3	Galileo	11
4.3	Virhelähteet	12
4.4	Korjaussignaalit.....	14
4.4.1	EGNOS, WAAS ja MSAS	14
4.4.2	OMNISTAR	15
4.4.3	RTK ja VRS	15
4.5	Satelliittipaikannus maataloudessa.....	17
5	TÄSMÄVILJELY	17
5.1	Viljelytoimenpiteet.....	18
5.1.1	Lannoitus	18
5.1.2	Kasvinsuojeluruiskutus.....	21
5.1.3	Sadonkorjuu.....	22
6	VRA -OSA TÄSMÄVILJELYÄ	23
6.1	Toteutustekniikka	23
6.2	VRA -kokoonpano/laittesto	24
6.3	Työmäärä & riskinhallinta	25
7	KUSTANNUSLASKENTA.....	26
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	30
	LÄHTEET	33

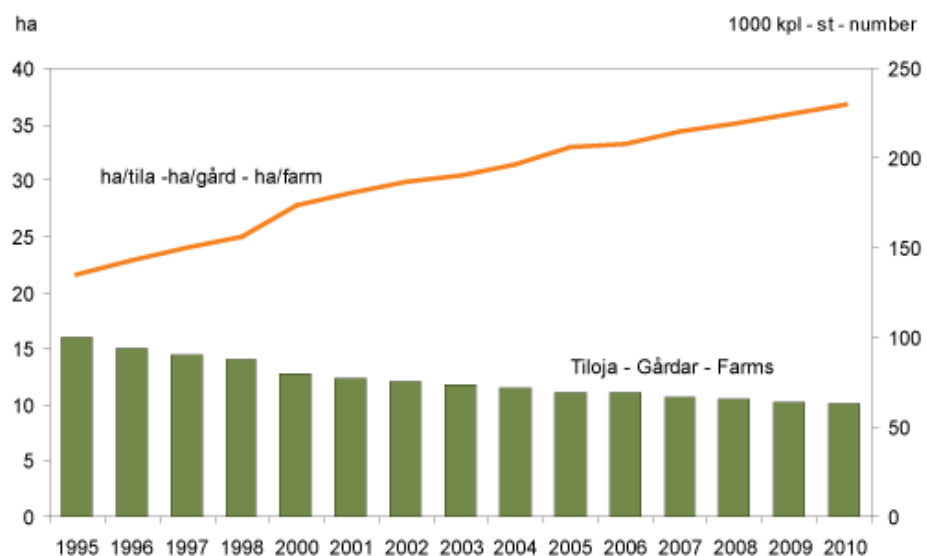
1 JOHDANTO

Maatalouden tekninen kehitys on viimeisten 10 vuoden aikana ollut huimaa. Suomalaisen maanviljelijän on lähes mahdotonta pysyä tekniikan ja laitteiston kehityksen mukana. Tämä saattaa merkitä väärin laitteistohankintojen tekemistä ja kannattavuuden heikentymistä. Viime vuosina on keskusteltu kiivaasti maatalouden kokemista muutoksista ja kannattavuudesta; tuotantopanosten hintojen noususta suhteessa lopputuotteesta saatavaan hintaan. Maatilayrittäjä ei itse pysty suurissa määrin vaikuttamaan lopputuotteensa hintaan, joten kannattavuuden parantamiseksi olisi pystyttävä säästämään tuotantovaiheessa. Viljelijän on myös yhä enenevässä määrin otettava huomioon ympäristön sekä vesistöjen suojeleminen ja yritettävä päästä eroon luonnon haitallisesta kuormittamisesta. Yksi mahdollinen ratkaisu on siirtyminen täsmäviljelyyn. Huolellisesti toteutetulla täsmäviljelytekniikalla voidaan säästää tuotantopanoksia ja ympäristöä ja samalla nostaa satotasoa sekä sadon laatua.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus raapaista pinnalta täsmäviljelytekniikkaa ja perehtyä tarkemmin yhteen osa-alueeseen; VRA-tekniikkaan. VRA (Variable Rate Application) tekniikalla tarkoitetaan lohko- sekä määräsäätöautomaatiikkaa. Tarkoitus on luoda kirjallinen katsaus VRA-tekniikan tuomiin hyötyihin ja haasteisiin, selvittää laitteistovaatimuksia sekä esittää mahdollisia kokoonpanoratkaisuja Suomen olosuhteisiin. Jotta VRA-tekniikasta olisi mahdollista saada maksimaalinen hyöty, on tärkeää ymmärtää paikannustekniikan perusteet sekä myös maaperän ja olosuhteiden vaikutukset. EU ajaa maatalouspolitiikkaansa koko ajan ympäristöystävällisempään suuntaan ja täsmäviljelytekniikalla on mahdollista vastata näihin haasteisiin. Täsmäviljelyyn siirryttäessä, luonnollisiksi eduiksi muodostuvat sekä työn ja tuotantopanosten seuranta että hallittavuus, joista on hyötyä parempaa kannattavuutta haettaessa. Työn toimeksiantajalle, Geotrim Oy:lle, työstä syntyy valmiita ratkaisuja myyntityöhön, ja opinnäytetyö toimii tukena perusteltaessa laitteistohankintojen kannattavuutta asiakkaille.

2 SUOMEN MAATALOUDEN KEHITYS

Vuonna 1995 Suomi liittyi Euroopan unioniin ja kansallisen maatalouspolitiikan tilalle tuli Euroopan yhteinen maatalouspolitiikka. Päättävältä maatalouden yleislinjoista siirtyi siis EU:lle. Tämä tapahtuma on ehkä merkittävin yksittäinen tapahtuma Suomen maatalouden lähihistoriassa. Maatilojen lukumäärä on vähentynyt, mutta viljelty peltopinta-ala on edelleen pysynyt samana. Tämä on johtanut siihen, että tilojen keskikoko kasvaa ja Suomen maatilat kehittyvät yhä suuremmiksi. Tämän trendin uskotaan jatkuvan edelleen tulevana vuosina (Kuva 1). Tilakoon kasvu tuo haasteita muun muassa ajankäyttöön ja tuotantopanosten hallittavuuteen. Myös kokonaisuuden hahmottaminen sekä sen hallinta on yhä tärkeämmässä roolissa.



Kuva 1. Maatilojen lukumäärä peltosuuruusluokittain vuosina 1995-2010 (matilda, 2012)

2.1 Viljelty maisema osana Suomen luontoa

Maatalousympäristö on merkittävä osa Suomen ympäristöä. Peltojen osuus koko maan pinta-alasta on noin 7 %, mikä vastaa noin 2,2 miljoonaa hehtaaria (2004). Alaa voi hahmottamisen vuoksi verrata kokonaispinta-alaltaan esimerkiksi Jyllannin niemimaan Tanskan puoleiseen osaan. Viljelty maisema on merkittävä myös muille kuin viljelijöille; suuri osa suomalaisista asuu peltojen tuntumassa tai matkustaa päivittäin viljelymaisemassa, jolloin he kokevat avoimen, suomalaisen kulttuurimaiseman (Tiainen et al., 2004).

Viljelijä on nykyään hyvin tietoinen siitä, miten maatalous vaikuttaa ympäristöön ja luonnon monimuotoisuuteen. Lähes kaikki EU-maat ovat sitoutuneet kansallisiin ympäristöohjelmiin, vaikkei se ole pakollista. Maatalouspolitiikassa on siis tunnustettu luonnon monimuotoisuuden hoidon ja suojelun tarve. Suomessa 95 % tiloista on liittynyt

ympäristöohjelmaan. Maatalouspolitiikalla vaikutetaan maatalousympäristön biodiversiteettiin pääasiassa taloudellisesti, hallinnollisesti ja tiedollisesti. Luonnon monimuotoisuutta ei kuitenkaan ole priorisoitu kovin korkealle ja toimenpiteet ja rahoitus ovat melko pitkälti riittämättömiä. Viljelijä sitten toimii, muun muassa hoitaa ja suojelee monimuotoisuutta, niiden reunaehtojen vallitessa joita politiikka luo; vastuu monimuotoisuuden kehityksestä on yhteiskunnalla (Tiainen, 2011).

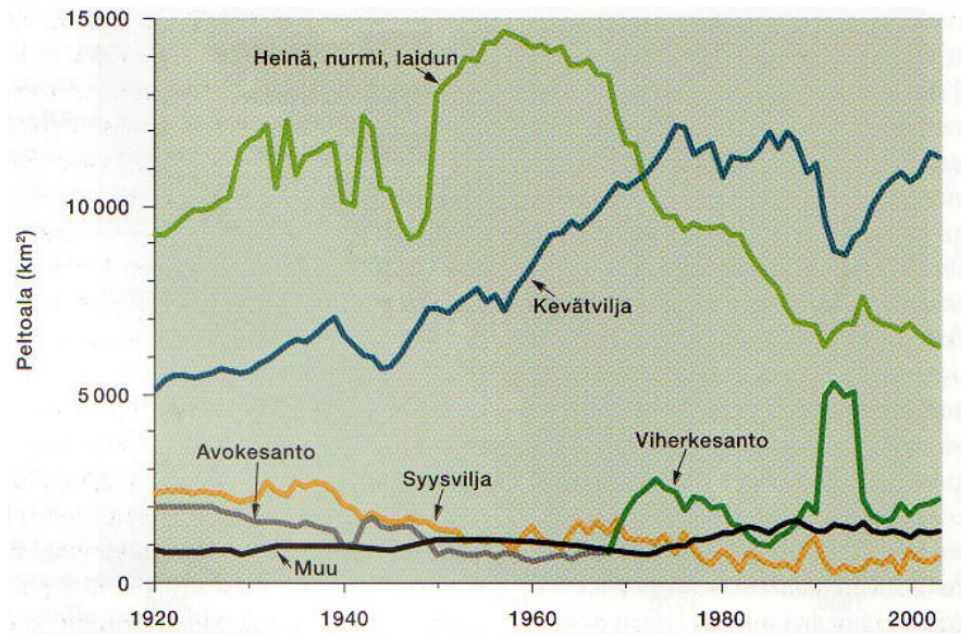
”Vaikka maatalous vastaa vain pienestä osasta suomalaista maankäyttöä, sen merkitys ympäristön muuttajana, maiseman muovaajana ja eliölajien runsaussuhteiden määrääjänä, on suuri. Maatalous on vuosisataisen kehityksensä aikana tuonut monille toimeentulon. Sillä on ollut suuri sosiaalinen merkitys ja se on tuottanut suomalaisen kulttuurimaiseman” (Tiainen et al., 2004).

2.2 Maatalousympäristön biologinen monimuotoisuus

Suomalaisen maatalousympäristön luonto on viime vuosikymmenien aikana köyhtynyt. Suomen maatalousympäristön biodiversiteetin köyhtyminen alkoi lähinnä tehotuotannon kaudella, mutta alkoi myös osin jo 1900-luvun alussa ja jatkui sitä mukaa aina 1960-luvulle asti. Köyhtymiseen ovat vaikuttaneet eri asiat eri aikakausina. Vielä pari vuosikymmentä sitten oltiin yleisesti sitä mieltä, että lajistollisen monimuotoisuuden väheneminen johtuu tehoviljelystä ja kemiallisesta kasvinsuojelusta. Termiä ”tehoviljely” ei kuitenkaan osattu sen tarkemmin selittää ja kasvinsuojeluaineita kutsuttiin usein ”myrkyiksi” (1950-luvulla torjunta-aineet myrkyttivät ravintoketjun ylätasolla olevia eläimiä, esimerkiksi petolintuja, jotka eivät olleet varsinaisen torjunnan kohteena). Näkökulma oli siis melko kapea (Tiainen et al., 2011).

Tiedon puutteeseen herättiin vasta jokunen vuosikymmen sitten. MTT:ssä (Maa- ja elintarviketutkimuskeskus) oli kylläkin tutkittu muun muassa peltojen rikkakasvistoa, hyönteisiä ja kasvitautien aiheuttajia, mutta tutkimus painottui vahvasti kasvinsuojeluun. Vasta 1980-luvulta lähtien alettiin ymmärtää, että maatalousympäristön monimuotoisuus riippuu koko ekosysteemin tilasta ja toiminnasta. Kun tällainen kokonaiskuva ymmärrettiin, oli myös kehitystä helpompi ymmärtää ja hallita (Tiainen, 2004).

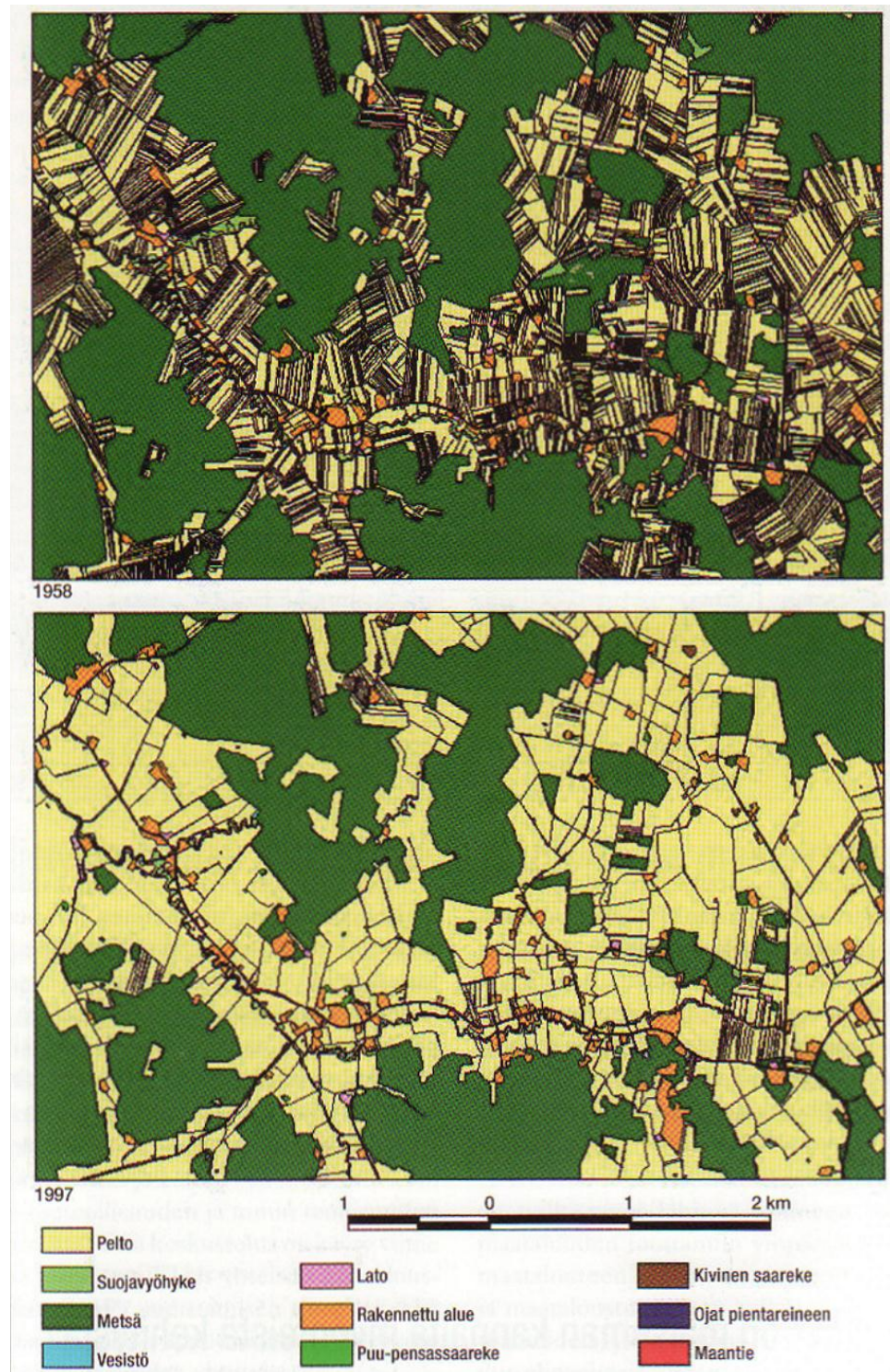
Biodiversiteetin köyhtymiseen on pääasiassa vaikuttanut neljä eri tekijää; karjan määrän muutos, tuotannon tehostuminen, maankäytön tehostuminen ja agrokemikaalien käyttö. Vielä 40 vuotta sitten Suomen maaseudulla vallitsi sekä kotieläintalous että kasvintuotantoon perustuva sekamaatalous. Vähitellen kotieläintilat ovat vähentyneet samalla kun niiden koko on kasvanut. Tämä on johtanut siihen, että heinä, nurmi ja laidunmaat ovat vähentyneet samaan aikaan kun kevätviljan osuus peltoalasta on kasvanut (Kuva 2).



Kuva 2. Peltoala (Tiainen, 2004)

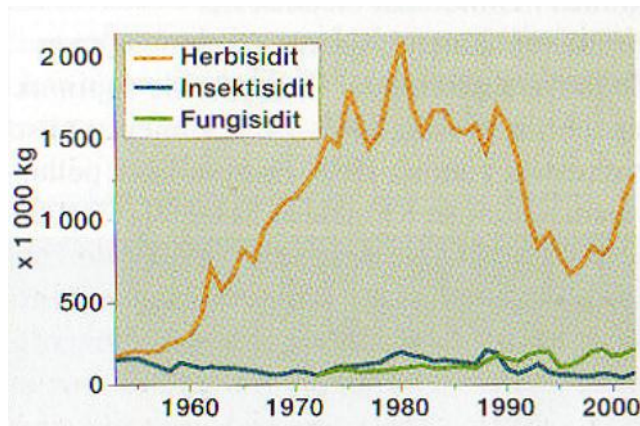
Karjatilojen vähenemisen takia ja näin ollen laiduntamisen vähenemisen takia oli EU-maissa vuoteen 2007 asti tilakohtainen velvoite kesannoida noin 10 % peltopinta-alasta. Kesannot kompensoivat lypsykarjatalouden taantumisesta aiheutuneita elinympäristömenetyksiä. Kesannointivelvoite kuitenkin loppui vuodesta 2008 lähtien, mutta Suomessa siirryttiin niin sanottuihin luonnonhoitopeltoihin. Luonnonhoitopellot kuuluvat maatalouden ympäristötuen perustoimenpiteisiin (Tiainen, 2011).

Tuotannon tehostuminen alkoi 1960-luvulla. Siihen vaikuttaneet tekijät olivat pääosin koneistuminen, peltoalan tehokkaampi käyttö ja torjunta-aineet. Peltoalan tehokkaammalla käytöllä tarkoitetaan sitä, että peltolohkoista tehtiin suurempia ja salaojitus yleistyi, minkä mukana myös pientareet hävisivät ja joutomaakuviot (esimerkiksi latojen, lyhtypylväiden ja kivikkoisten alueiden joutomaat) sekä niityt muutettiin peltomaaksi (Kuva 3).

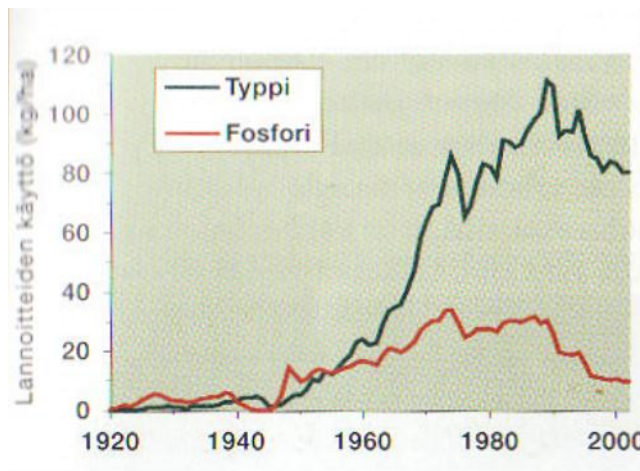


Kuva 3. Maankäyttö vuosina 1958 (yläkuva) ja 1997 (alakuva) (Hietala-Koivu, 2002)

Agrokemikaalien käyttö Suomessa alkoi 1950-luvulla ja niiden käyttö yleistyi aina 1970-luvun alkuun asti (Kuva 4). Torjunta-aineiden yleistymiseen johti pääasiassa 1960-luvun alussa tehty viljapeltojen rikkakasvikartoitus. Tämän kyseisen kartoituksen avulla määriteltiin tärkeimmät torjunnan kohteena olevat kasvilajit sekä osoitettiin rikkakasvien torjunnan tarpeellisuus. Torjunta-aineiden käyttö kuitenkin väheni 1990-luvun alussa, osittain siksi, että niin sanotut pienannosherbisidit tulivat markkinoille. 2000-luvulla pienannosherbisidien käyttö on kuitenkin vähentynyt ja ne on korvattu perinteisimmillä aineilla, esimerkiksi glyfosaatilla ja fenoksihapolla.



Kuva 4. Kasvinsuojeluaineiden käyttökehitys (Tiainen 2004)



Kuva 5. Lannoitteiden käytön kehitys (Tiainen 2004)

Maatalous on edelleen suurin syy vesistöjen rehevöitymiseen. Ravinteiden käyttö, pääasiassa typpi ja fosfori, runsastui 1960-luvulla (Kuva 5). Herbisidien käytön takia pientareet muuttuivat heinävaltaisiksi ja peltoalan tehokkaammalla käytöllä pientareet melkein katosivat. Näiden seikkojen takia liialliset ravinteet huuhtoutuivat helposti vesistöihin. 1990-luvulta lähtien väkilannoitteiden käyttöä on alettu tarkkailla ja liiallista lannoitusta pyritty välttämään (Tiainen, 2011).

3 MAAPERÄN VAIKUTUS VILJELYSSÄ

Maan rakenne vaikuttaa peltoviljelyssä merkittävästi. Viljelykäyttöön otettujen alueiden perustamiseen ovat pitkälti vaikuttaneet maaperän ominaisuudet. Ominaisuudet ovat pääasiassa fysikaalisia ja kemiallisia, mutta myös korkeussuhteet vaikuttavat, esimerkiksi veden saatavuuteen. Ominaisuuksiin vaikuttavat myös viljelytavat, joiden myötä peltoihin muodostuu erilaisia elinympäristöjä maaperäeliöstölle (Tiainen et al. 2004).

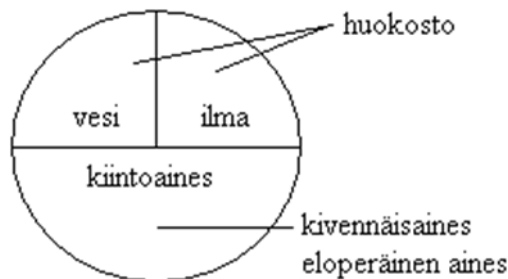
Maaperäeliöstö koostuu pääasiassa mikrobeista, joiden toiminta liittyy muun muassa hiilen, typen ja fosforin kiertoon. Tämän lisäksi maaperäeliöillä on merkittävä vaikutus esimerkiksi eloperäisen aineksen hajotuksessa, maanmuokkauksessa (lierot tekevät käytäviä, mikrobien limaeritteet ja sienirihmat pitävät koossa pintamaan muruja) ja symbionttisessa toiminnassa (Rhizobium - suvun bakteerit). Eli, mitä suurempi monimuotoisuus maanpinnan alla, sitä parempilaatuisempi maaperä ja sitä parempi sato (Tiainen 2011).

Maaperän ominaisuuksia tarkasteltaessa on myös otettava huomioon ihmisen aikaansaamat kemialliset muutokset. Kemiallisiin muutoksiin kuuluvat kalkitus, lannoitus ja torjunta-aineet (Tiainen et al. 2004). Kalkitus kohottaa maan pH:ta. Alhainen pH haittaa kasvien kasvua, vaikuttaa maan biologiseen aktiivisuuteen ja mururakenteen muodostumiseen. Runsas typpilannoitus johtaa pH:n merkittävään laskuun (Saarela 2002).

Lannoitus on kasvattanut peltojemme fosforivaroja 1930-luvulta lähtien noin 1000 kg/ha (Saarela 2002). Suurin osa tästä on sitoutunut maahan rauta- ja alumiiniyhdisteiksi, mutta etenkin 1960-luvulta lähtien helppoliukoisinkin fosforin pitoisuus on kasvanut. Tästä syystä lannoitusta on vähennetty merkittävästi 1990-luvulta asti. Happaman maaperämme takia fosfori kuitenkin sitoutuu maahan tehokkaasti, eli suurin osa pelloistamme vaatii kyseistä lisäravinnetta (Heinonen et al., 1992). Kohtuullisella lannoituksella on yleensä suotuisa vaikutus maaperäeliöstöön ja vielä parempi, jos lannoitteiden mukana tulee myös eloperäistä ainesta. Liiallinen lannoitus usein estää mikrobien toiminnan johtuen siitä, että liukoisten ravinteiden määrä lisääntyy maavedessä (Carlgren et al., 2001).

Savet, hiesut ja hiedat, hienot hiekat, vähäkiviset moreenit, ohutturpeiset suot sekä jopa paksuturpeiset suot ovat viljelyyn sopivia maalajeja (Tiainen et al. 2004). Maan rakenne muodostuu yksihiukkaisista rakenteista (esim. savimaa), mururakenteista (erikokoiset ja muotoiset aggregaatit, paras rakenne) ja massiivisista rakenteista. Karkeissa maissa mururakenne on ”löyhä”. Murujen kestävyydellä on myös merkitystä. Murujen kestävyys nimittäin vähentää liettymistä, kuorettumista, eroosiota ja varmistaa veden imeytymisen pinnasta syvempiin osiin. Murujen ja hiukkasten välissä/sisällä on huokosia, ja näin ollen muodostavat rakenteen rungon maan kiintoaineelle. Maalajien välillä on eroja muun muassa huokostossa; huokokset voidaan jakaa makrohuokosiin, keskikokoisiin huokosiin ja pieniin huokosiin. Makrohuokokset ovat suuria, halkaisija yli 0,03 mm. Koska huokokset ovat niin suuria, vesi ja ilma

liikkuvat myös märässä maassa. Juurilla on tilaa kasvaa ja hetkellinen veden varastointi on myös mahdollista. Keskikokoiset huokokset ovat hieman pienempiä ja pidättävät muun muassa kasveille käyttökelpoisen veden. Pienet huokokset ovat alle 0,0002 mm, jolloin vesi sitoutuu kasvin ulottumattomiin. Tavoitteena on hyvä huokosrakenne (Kuva 6). Tuolloin sekä veden saanti että ilman vaihto toimivat parhaiten (Tiainen 2011).

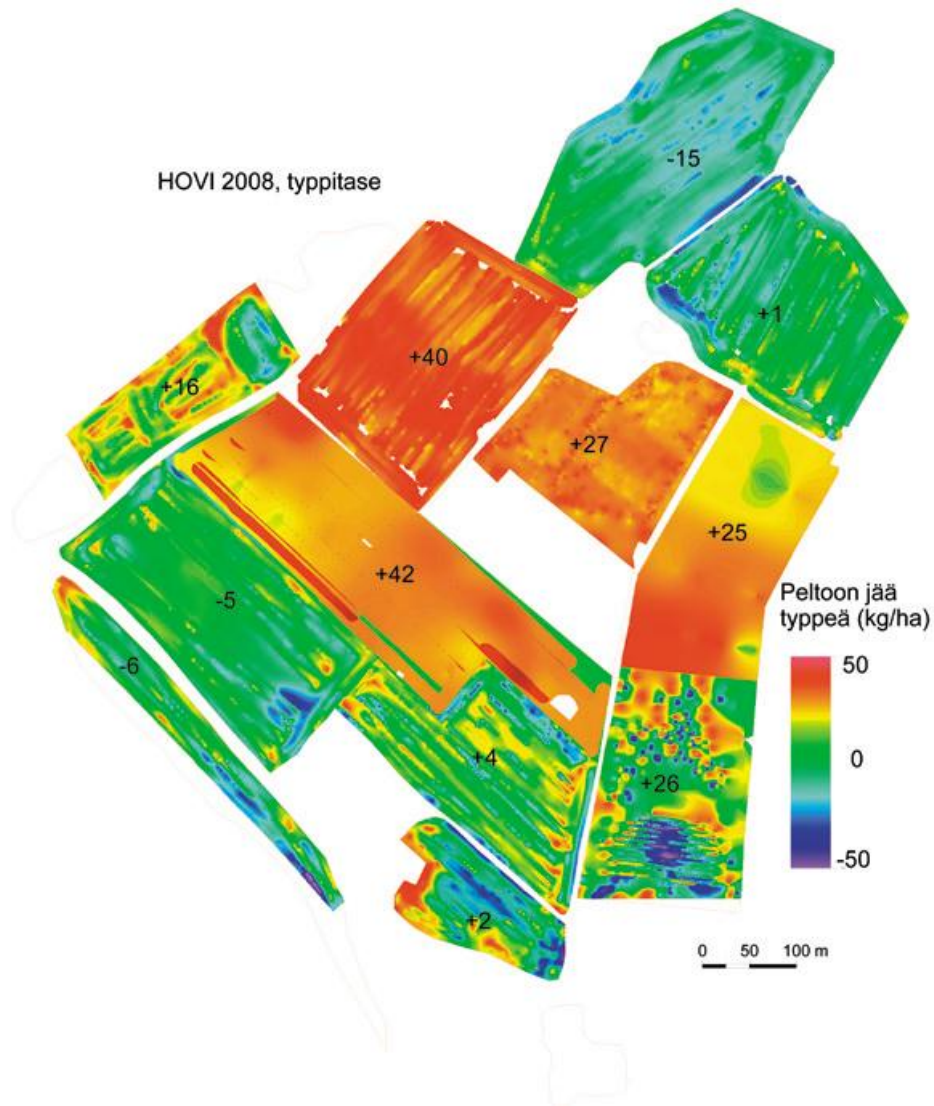


Kuva 6. Hyvä huokosrakenne (Tiainen, 2011)

3.1 Ravinnetaseiden ja sadon vaihtelu pellon sisällä

Pellon sisäiset ravinnetaseet voivat paikallisesti vaihdella suurestikin. Vaihtelun syitä voi olla useitakin, suurimpina maalajien, maalajikerrostumien sekä maan rakenteen vaihtelut. Eri maalajit sitovat ravinteita ja vettä erilailla ja maan mururakenteella on vaikutusta maan vedenpidätyskykyyn ja juurten kasvukykyyn. Myös maanpinnan korkeusprofiililla on merkitystä, ravinteet ja vesi valuvat rinnettä alas ja kerääntyvät notkon pohjalle. Pellon läheiset puustot imevät ravinteita ja vettä viljelykasveilta ja varjostavat kasvustoa. Vuosittaisella sääolosuhteiden, rikkakasvien, tuholaisien ja tautien vaihtelulla on myös merkitystä. Eikä sovi unohtaa itseaiheutettua vaihtelua; esim. päällekkäisellä lannoituksella tai tiivistävällä peltoliikenteellä on myös vaikutusta (Pesonen et al., 2010).

Vuonna 2008 laskettiin MTT Vihdin Hovin alueen peltolohkoilta ravinnetaseita paikkakohtaisesti mitatusta aineistosta. Taseet laskettiin siten, että kasvukaudella lannoitteena annetusta ravinnemäärästä vähennettiin sadon mukana pellolta poistunut ravinnemäärä. Lannoitus annettiin lohkokohtaisena tasalannoituksena. Typpitaseen vaihtelu oli 114 kg/ha (Kuva 7). Koska pellot lannoitettiin kauttaaltaan tasaisesti samalla määrällä, tarkoittaa se sitä että jotkin peltolohkojen osat saivat liian paljon ravinteita ja jotkin osat liian vähän. Tulokset osoittivat, että satopotentiaalia olisi riittänyt suurempaankin satoon lohkojen osilla, joissa lannoitetaso jäi miinukselle. Vastaavasti lohkojen osat, joilla lannoitetaso on vahvasti positiivinen tarkoittaa sitä että lannoitetta annettiin liikaa ja se on vaarassa huuhtoutua luontoon (Pesonen et al., 2010).

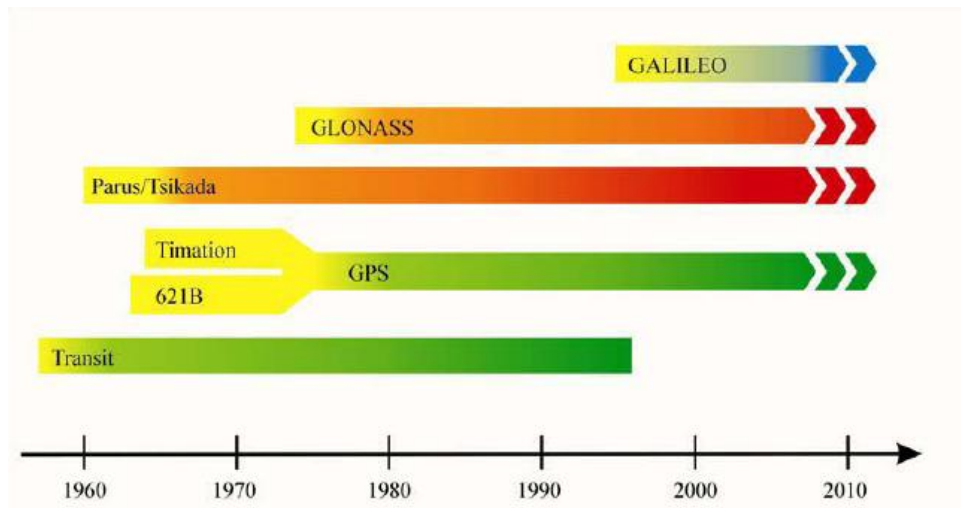


Kuva 7. Tyypitaseet (lannoitetyppi - sadon sisältämä typpi) Hovin lohkoilla vuonna 2008 (Pesonen, 2010)

4 SATELLIITTITEKNIikka

Yleensä ajatellaan satelliittitekniikan olevan suhteellisen uutta tekniikkaa, mutta sen juuret ulottuvat jo 1940-luvulle, jolloin oli ideoitu globaalia navigointijärjestelmää. 1950-luvulla käynnistetyt hankkeet saivat Vietnamin sodasta vauhtia toteutumiselle. Esteenä suunnitelmille oli avaruus- ja tietotekniikan kehittymättömyys (Miettinen, 2002).

Satelliittipaikannus perustuu maata kiertävien satelliittien käyttöön (Hokka, 2011). Keskeisimmät satelliittipaikannusjärjestelmät ovat amerikkalainen GPS, venäläinen GLONASS ja lähitulevaisuudessa eurooppalainen Galileo (Airos et al., 2007). (Kuva 8).



Kuva 8. Satelliittipaikannusjärjestelmien kehittyminen. (Airos, 2007)

4.1 Paikantaminen

GPS-paikannin vastaanottaa signaaleja satelliiteista. Kun tiedetään signaalien kulkevan valonnopeudella, pystytään määrittämään GPS-paikantimen ja satelliittien välinen etäisyys. Satelliittipaikannus perustuu erittäin pienien aikaerojen mittaukseen. Radiosignaalien kulkuaika todetaan erittäin tarkkoilla kelloilla ja ajan mittauksessa millisekunnin virhe tarkoittaa 300 kilometrin virhettä etäisyydessä. (Airos et al., 2007). Paikanmäärittämiseen tarvitaan vähintään 3 (2D) tai 4 (3D) satelliittia (Hokka, 2011).

4.2 Satelliittipaikannusjärjestelmät

GNSS (Global Navigation Satellite System) on yhteisnimitys satelliittipaikannusjärjestelmille ja se käsittää käytössä olevat GPS- ja Glonass-järjestelmät sekä tulevat Galileo- ja Compass-järjestelmät (Geotrim 2012). GNSS/GPS järjestelmät toimivat samalla periaatteella ja koostuvat kolmesta osasta: avaruusosa, valvontaosa ja käyttäjäosa (Hokka 2011).

4.2.1 GPS

Global Positioning System (GPS) on Yhdysvaltojen puolustusministeriön kehittämä paikannuspalvelu, joka alun perin on kehitetty sotilaskäyttöön. Vuonna 2000 poistettiin tarkkuutta tahallisesti huonontava SA (Selective Availability) käytöstä ja näin ollen mahdollistettiin myös siviilikäytössä mahdollisimman tarkka paikannuspalvelu (Geotrim, 2012). GPS-järjestelmän avaruusosa koostuu 24 käytettävästä satelliitista ja kolmesta varasatelliitista kuudella ratatasolla 20 200 km korkeudessa (Kuva 9). 4-10 satelliittia on näkyvissä samanaikaisesti lähes joka paikalla maanpinnalla. Valvontaosaan kuuluu keskusasema sekä viisi maa-asemaa. Valvontaosan tehtäviin kuuluu järjestelmän valvonta ja ylläpito ja siitä vastaa Yhdysvaltojen ilmavoimien avaruushallinto. GPS-paikantimet, joita

löytyy lukuisiin eri käyttötarkoituksiin, kuuluvat käyttäjäosaan (Hokka, 2011).



Kuva 9. GPS-satelliitit (Hokka, 2011)

4.2.2 Glonass

GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema, Global Navigation Satellite System) on venäläisten kehittämän paikannusjärjestelmä (Airos et al., 2007). GLONASS -järjestelmä on jaettu kolmeen eri osaan: avaruus-, valvonta- ja käyttäjäosaan. Avaruusosa koostuu 21 käytettävästä satelliitista kolmella ratatasolla 19100 km korkeudessa. Valvontaosaan kuuluu keskusasema sekä neljä maa-asemaa jotka kaikki sijaitsevat Venäjällä. (Airos et al., 2007, Hokka, 2011)

4.2.3 Galileo

Galileo on rakenteilla oleva eurooppalainen paikannusjärjestelmä. Täydessä kokonaisuudessaan se koostuisi 30 satelliitista ja ensimmäiset paikannuspalvelut olisi tarkoitus tuottaa vuonna 2014 (Hokka, 2011, Enterprise & Industry magazine, 2012). Galileo erottuu kahdesta edellä mainitusta järjestelmästä siten, että se on alun perinkin suunniteltu siviilikäyttöön. Avaruusosa koostuisi 27 toiminnallisesta satelliitista ja kolmesta varasatelliitista. Valvontaosaan kuuluisi 20 ympäri maapalloa sijoitettua valvonta-asemaa ja yksi valvontakeskus (ESA, 2011). Valvontakeskus on sijoitettu Tšekin pääkaupunkiin Prahaan (Enterprise & Industry magazine, 2012).

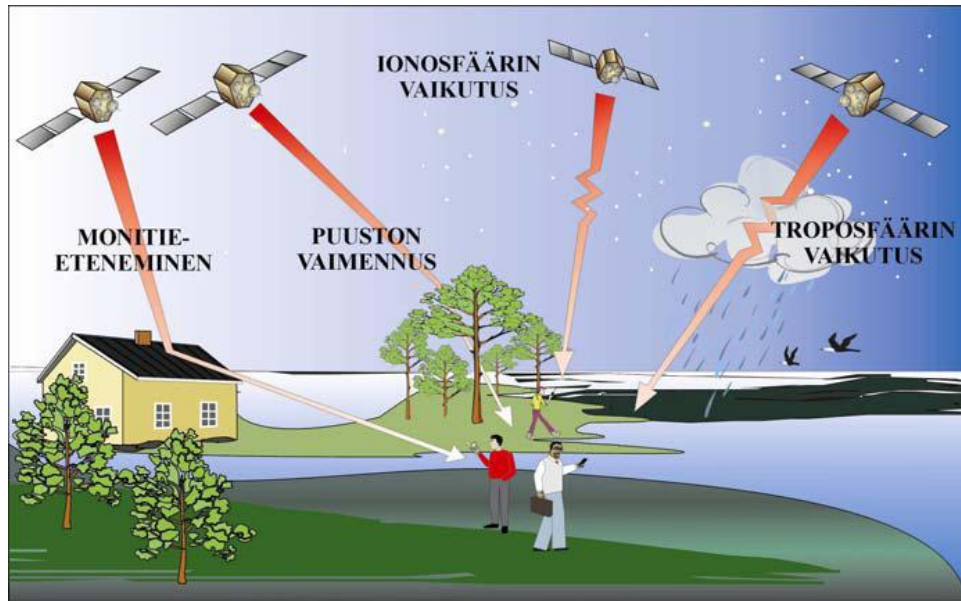
	Paikannusjärjestelmät		
	Gps	Glonass	Galileo
Järjestelmän satelliitit	24	21+3	30
Satelliitteja käytössä	30	12	1
Ratakorkeus	20 200 km	19 100 km	23 222 km
Ratatasojen määrä	6	3	3
Radan inklinaatio ⁽¹⁾	55°	64,8°	56°
Kiertoaika	11h 58m	11h 15min	14h 4min
Tarkkuus			
• vaakasuunnassa	15 m	57–70 m	4 m
• pystysuunnassa	35 m	70 m	8 m
Kantoaallot (MHz)			
• perussignaali	1575,42	1602,0–1615,5	1164–1214, 1563–1591
• tarkka signaali ⁽²⁾	1227,6	1246–1256,5	1260–1300
Koordinaattijärjestelmä	WGS-84	PZ-90	GTRF

¹⁾ Inkliinaatio tarkoittaa kiertoradan kulmaa suhteessa päiväntasaajaan.
²⁾ Gps-järjestelmässä L2-taajuudella lähetettävä tarkkuussignaali on sotilaskäytössä.
 Glonass-järjestelmän signaali on vapaassa käytössä, Galileo-järjestelmässä alle metrin tarkkuuteen kykenevä paikannussignaali on suunniteltu maksulliseksi palveluksi.

Kuva 10. Paikannusjärjestelmien vertailu (MikroPC 10 2007)

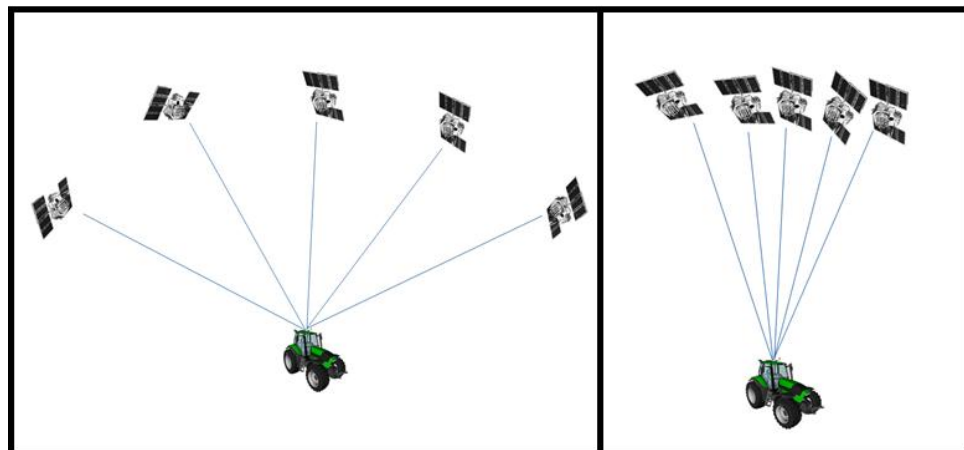
4.3 Virhelähteet

Satelliittien signaalien kulkeutumiseen ja näin ollen mittaustarkkuuteen aiheutuu virheitä monista eri tekijöistä (Kuva 11). Virheitä syntyy mm. monitie-etenemisestä, puuston vaikutuksesta, ionosfäärin vaikutuksesta ja troposfäärin vaikutuksesta (Airos et al., 2007). Satelliittien rata- ja kellovirheet aiheuttavat paikannusvirheitä, vaikka niitä on pyritty eliminoimaan mahdollisimman tarkasti. Avaruudessa planeettojen vetovoimat ja aurinkotuulet saattavat arvaamattomasti vaikuttaa satelliittien kiertoratoihin, jolloin paikannustarkkuus jälleen kärsii. Suurimmat virhelähteet ovat avaruudessa tapahtuvat: Satelliittien rata ja kellovirheet ja ionosfäärin vaikutukset (Taulukko 1) (Miettinen, 2002).



Kuva 11. Satelliittipaikannukseen virheitä aiheuttavia tekijöitä (Airos 2007).

Satelliittien DOP-luvulla (Dilution of Precision) tarkoitetaan satelliittien keskinäistä geometriaa (Kuva 12). Satelliittien ollessa lähellä toisiaan (korkea DOP-luku) paikannustarkkuus on heikompä kuin jos satelliitit ovat etäällä toisistaan (matala DOP-luku) (Airos, 2007)



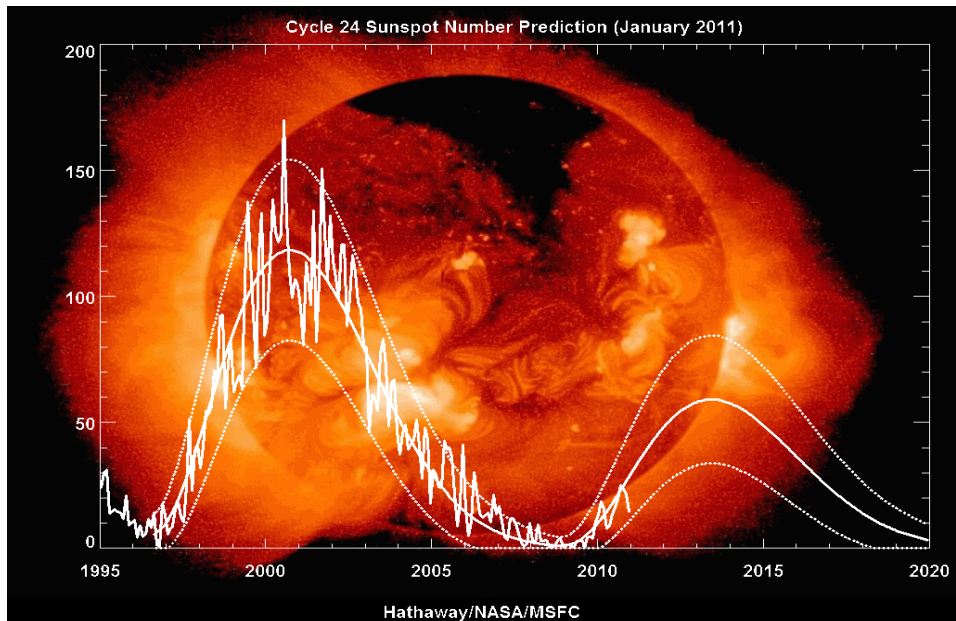
Kuva 12. Matala Dop-luku (hyvä)
(Geotrim, 2010)

Korkea Dop-luku (huono)

Taulukko 1. Paikannuksen virhekertymien aiheuttamat etäisyysvirheet keskimäärin (Hokka 2011).

Virhekertymä koodimittaukselle	(Virhe etäisyyden määrittäyksessä)
Ionosfääri	4m
Troposfääri	0,7m
Satelliitin kellovirheet	2,1m
Satelliittien ratavirheet	2,1m
Monitieheijastukset	1,4m
Vastaanottimen virheet	0,5m

Auringon aktiivisuus vaikuttaa negatiivisesti paikannustarkkuuteen. Auringon aktiivisuus lisääntyy noin 11 vuoden sykleissä, jolloin se vaikuttaa heikentävästi paikannustarkkuuteen (Kuva 13) (Geotrim 2012).



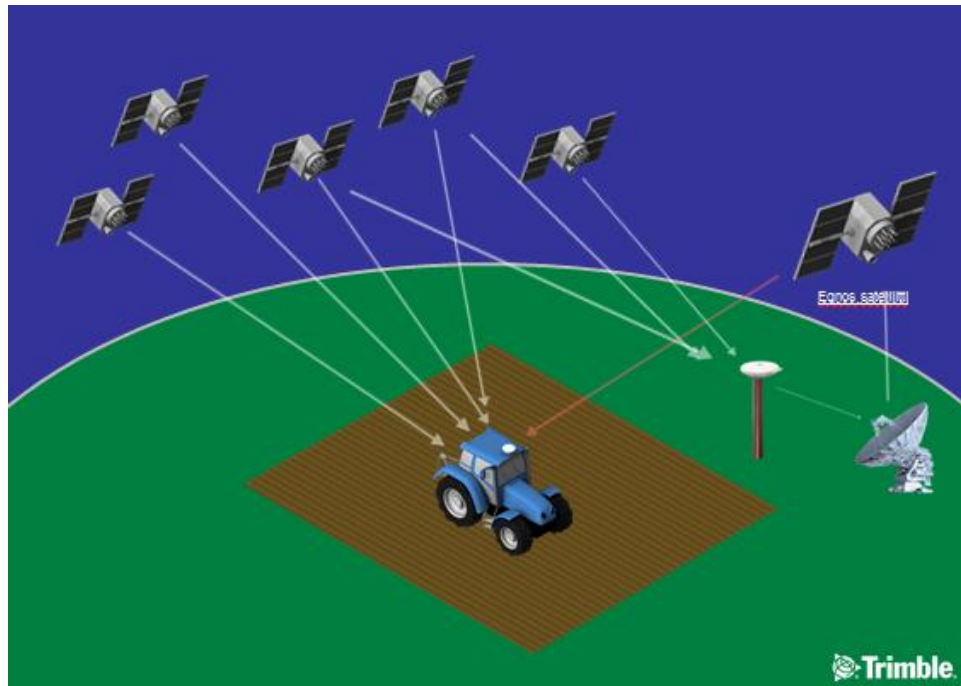
Kuva 13. Auringon aktiivisuus (Geotrim, 2012)

4.4 Korjaussignaalit

Edellä mainituista virheistä johtuen pelkästään GNSS/GPS-paikannusjärjestelmää hyödyntämällä päästään tyypillisesti noin viiden metrin tarkkuuteen. Parempi tarkkuus edellyttää relatiivista paikannusta kuten DGPS (Differential GPS) tai RTK (Real Time Kinematic). DGPS-tekniikalla, esim. EGNOS, saavutetaan parhaimmillaan 30 cm toistotarkkuus ja RTK-tekniikalla saavutetaan jopa 2,5 cm toistotarkkuus (Geotrim 2012).

4.4.1 EGNOS, WAAS ja MSAS

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) on eurooppalainen GPS-korjausdataa välittävä palvelu. Tietojen välitykseen käytetään geostationäärisiä satelliitteja, eli niiden sijainti maahan nähden pysyy koko ajan samana. Järjestelmään kuuluvat maanpäälliset tukiasemat sijaitsevat ympäri Eurooppaa. Satelliitit on sijoitettu päiväntasaajan yläpuolelle, joten Suomen pohjoisesta asemasta johtuen korjaussignaali saavuttaa Suomen noin 10 -12 asteen kulmassa. Pienestä kulmasta johtuen työskenneltäessä esimerkiksi etelänpuoleisen metsänreunassa, EGNOS-korjaussignaali ei aina saavuta käyttäjän vastaanotinta (Kuva 14) (Geotrim 2012).



Kuva 14. EGNOS-korjauspalvelun toimintaperiaate (Geotrim, 2012)

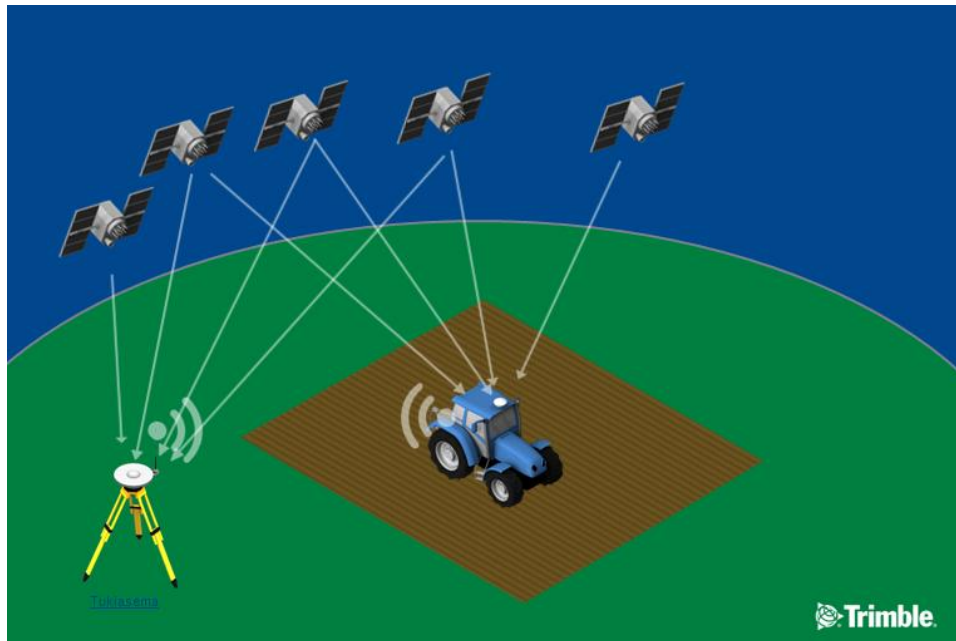
WAAS (Wide Area Augmentation System) ja MSAS (Multi-Functional Satellite Augmentation System) ovat EGNOS:a vastaavia järjestelmiä Pohjois-Amerikassa ja Japanissa. Niitä ei voi hyödyntää Euroopassa (Geotrim 2012).

4.4.2 OMNISTAR

Omnistar on satelliitteihin perustuva globaali kaupallinen korjauspalvelu. Korjaussignaali välitetään geostationäärisiltä satelliiteilta, jotka sijaitsevat Suomesta katsottuna matalalla etelätaivaalla. Palvelusopimuksesta riippuen Omnistar korjauspalvelulla saavutetaan 0,1 – 0,5 metrin tarkkuus (Geotrim 2012). Koska Omnistar välittää tiedot satelliittien kautta, kärsii se samasta ongelmasta kuin EGNOS, eli työskenneltäessä esim. metsänreunassa tai Pohjois-Suomessa satelliittien signaalit eivät aina tavoita vastaanotinta.

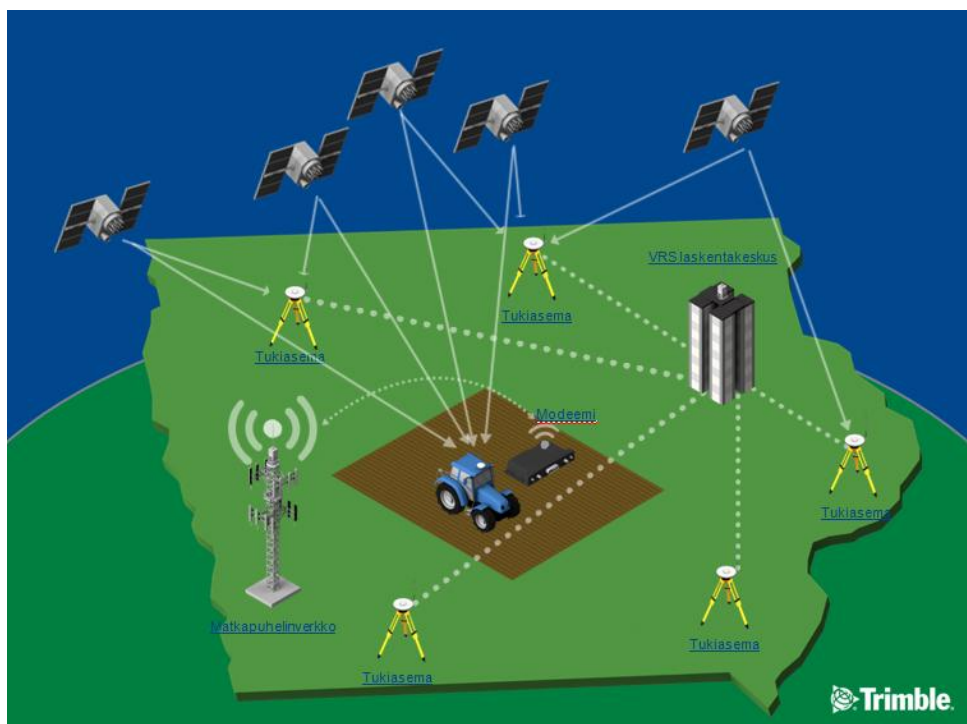
4.4.3 RTK ja VRS

RTK (Real Time Kinematic) edellyttää korjaussignaalia tunnetulla pisteellä olevalta tukiasemalta. (Kuva 15) Korjaussignaali välitetään työkoneeseen radion välityksellä, joka rajoittaa korjaussignaalin käyttöä pidempien etäisyyksien takaa. Omalla tukiasemalla saavutetaan oikeissa olosuhteissa 2,5 cm tarkkuus (Geotrim, 2012).



Kuva 15. RTK-tukiasema korjaussignaalin toimintaperiaate (Geotrim 2012).

VRS (Virtual Reference Station) on Geotrim Oy:n ylläpitämä valtakunnallinen tukiasemapalvelu, jonka avulla voidaan paikantaa RTK-tekniikalla kaikkialla Suomessa ilman omaa tukiasemaa. Järjestelmä käsittää ympäri maata sijaitsevat 88 tukiasemaa ja laskentakeskuksen Vantaalla. Käyttäjän vastaanotin muodostaa yhteyden laskentakeskukseen GPRS-tiedonsiirrolla, joka laskee käyttäjälle henkilökohtaisen virtuaalitukiaseman (Kuva 16) (Geotrim, 2012).



Kuva 16. VRS tukiasemapalvelun toimintaperiaate (Geotrim 2012).

4.5 Satelliittipaikannus maataloudessa

Satelliittipaikannusjärjestelmien käyttö maataloudessa säästää aikaa, kuluja ja energiaa. Järjestelmää käyttämällä esimerkiksi ruiskutuksessa, kasvinsuojeluaineiden kulutus laskee, kun päällekkäisyyksiltä vältetään. Täsmäviljelyssä, jossa esimerkiksi lannoite levitetäisiin pellolle tarpeen mukaan eri määrä eri kohtaan peltoa, olisi mahdotonta tai ainakin hyvin hankalaa, jollei työkoneen kuljettaja tietäisi tarkalleen itse missä kohtaa peltoa hän liikkuu (Geotrim 2012).

Järjestelmiä on markkinoilla useita eri malleja useassa eri hintaluokassa. Järjestelmien pohjana ja älynä toimii itse näyttö/ajouraopastin. Geotrim Oy:n valikoima perustuu kolmesta eri Trimble Ltd:n valmistamasta näytöstä; EZ-Guide 250, CFX-750 ja FmX-näyttö (Kuva 17). Näistä kolmesta EZ-Guide 250 on yksinkertaisin eikä sisällä mahdollisuuksia määrä- tai lohkoautomaatiikkaan. CFX-750 mahdollistaa jo laajan täsmäviljelykokonaisuuden 2,5 cm toistotarkkuudella. Integroituun FmX-näyttöön on mahdollista lisätä vielä työkoneen ohjausta, reaaliaikasta kasvuston mittaamista GreenSeeker- tai WeedSeeker järjestelmällä sekä satokartoitus (Geotrim 2012).



VAIHTOEHDOT	EZ-GUIDE 250 -JÄRJESTELMÄ	CFX-750 -NÄYTTÖ	FmX-NÄYTTÖ
Värinäytön koko	10,9 cm	20,3 cm	30,7 cm
Kosketusnäyttö		✓	✓
Videokameraliitännät		2	4
Integroitu GPS-vastaanotin	1	1	2
Senttimetrin tarkkuus	✓	✓	✓
OmniSTAR, tarkkuus 5–12,5 cm		✓	✓
RTK-tarkkuus 2,5 cm		✓	✓
GLONASS-yhteensopiva		✓	✓
Avustettu ohjaus, yhteensopiva	✓	✓	✓
Ratin automaattiohjaus, yhteensopiva		✓	✓
Työlaitteen automaattiohjaus			✓
Työn & sovellusten hallinta, yhteensopiva		✓	✓
Käytönaikainen VRA, jossa GreenSeeker®-anturit			✓
Vedenhallinta, yhteensopiva			✓
Office-ohjelmiston kanssa yhteensopiva	✓	✓	✓
Sadon seuranta			✓

Kuva 17. Trimble Ltd. näyttöjen ominaisuudet (Geotrim, 2012)

5 TÄSMÄVILJELY

Täsmäviljelyn voidaan yksinkertaisesti sanoa olevan sitä että, laittaa oikeaa ainetta oikean määrän oikeaan paikkaan oikeaan aikaan. Tavoitteena on kannattavuuden parantaminen, sadon lisääminen ja ympäristön suojeleminen. (Geotrim, 2012).

Täsmäviljelytekniikkaa on ollut tarjolla Suomessakin jo yli 10 vuotta, mutta sen yleistymistä on jarruttanut lähinnä laitteiden kallis hinta ja vaikea käytettävyys. Saavutettava hyöty on vaikea arvioida ja toisaalta suomalaiset viljelijät ovat olleet melko tyytyväisiä lohko-kohtaisen viljelyn tarkkuuteen. Myös vuosittaiset sääolosuhteiden vaihtelut vaikuttavat tulokseen siinä määrin että viljelyn tarkentamisella ei saavutettaisi vastaavaa hyötyä. Tuotantopanosten hinnannousu, heikot satotasot ja satojen huono laatu kannustavat kuitenkin pohtimaan uusia ratkaisuja oman toiminnan kehittämiseksi (Pesonen et al., 2010)

5.1 Viljelytoimenpiteet

Markkinoilla on jo paljon täsmäviljelyvalmista kalustoa. Puimureihin saa valmiina satokartoitusjärjestelmiä, pintalevittimet ja ruiskut sisältävät valmiuden määränsäätö- sekä lohko-automatiikalle ja myös kylvökoneisiin on saatavilla määränsäätö-automatiikka. Nämä ovat usein lisävarusteita, joten niistä syntyy lisäkustannuksia tavanomaiseen viljelyyn verrattuna. Lisäksi tarvitaan tietokoneohjelma, jolla hallinnoidaan ja analysoidaan saapuvaa tietoa, sekä tehdään suunnitelmat, jotka lähetetään työkoneelle. Täsmäviljelyn soveltamista eri työvaiheisiin voi täydentää omien mahdollisuuksien mukaan. Usein lähdetään liikkeelle satokartoituksella, jolloin nähdään selkeämmin lohkon sisäisten tuottoalueiden rajat ja pystytään analysoimaan ja määrittämään täsmäviljelyn tehostamisen tarve. Lisäksi maanäytteet voidaan paikantaa GPS-paikannuksella, jolloin tuloksista voi hakea syitä paikkakohtaisen satotason vaihteluun. Näitä tietoja käyttäen voidaan luoda seuraavan vuoden lannoitus suunnitelma ja toteuttaa työ VRA-tekniikkaa hyödyntämällä.

Trimble-tuoteperheestä löytyy lähes kaikki täsmäviljelytoimenpiteisiin vaadittavat paikannus- ja mittauslaitteet sekä analysointiin ja tiedonkeruuseen vaadittavat ohjelmistot (Geotrim, 2012).

5.1.1 Lannoitus

”Yksi hyvän sadon perusedellytys on riittävä lannoitus” (Liesipuu, 2012). Koko kasvukauden lannoitemäärän antaminen kylvön yhteydessä kylvölannoittimella on Suomessa edelleen suosituin ja käytetyin menettelytapa. Muualla maailmassa yleistä pintalannoitusta käytetään Suomessa lähinnä vehnän täydennyslannoitukseen haluttaessa nostaa leipävehnän valkuaispitoisuutta. Kylvölannoittimiin on ollut jo usean vuoden ajan mahdollista hankkia lannoitepuolen määränsäätö-automatiikkaa, jolla voidaan manuaalisesti vähentää/lisätä lannoitteen määrää halutulla tavalla. Tämä toiminta voidaan myös automatisoida, jolloin lannoitteen säätö tapahtuu ajouraopastimen näyttöön ladatun karttapohjan perusteella. Paikkakohtainen lannoitus on mahdollista toteuttaa myös pelkästään Trimble Nomad (Kuva 18) tai Yuma kämmentietokonetta hyödyntäen. Kämmentietokoneelle asennetaan Farm Works mobile ohjelmisto, jolla määränsäätöä hallitaan. Paikkatieto saadaan laitteen sisäänrakennetusta GPS-antennista. Lannoitus suunnitelma voidaan tehdä Farm Works Mapping ohjelmalla joko satokartan,

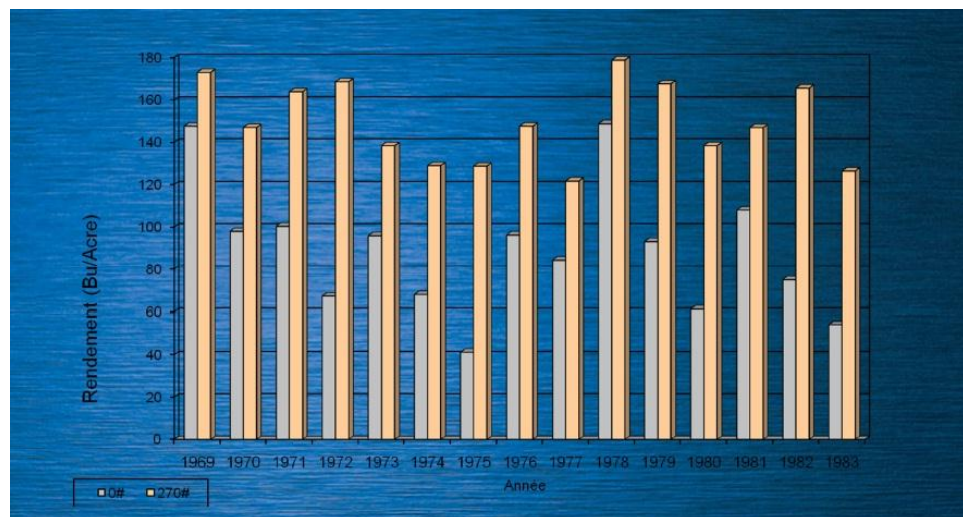
viljavuuspalvelun maanäytetuloksien tai omien havaintojen perusteella. (Liesipuu, 2012, Geotrim, 2012).



Kuva 18. Trimble Nomad Kämmentietokone (Geotrim, 2012)

Taulukko 2:ssa on kuvattu Ranskassa tehty tutkimus, jossa 15 vuoden ajan lannoitettiin koeruuduille joka vuosi samalla tavalla, toiselle ruuduista 0 kg typpeä ja toiselle 270 lbs (122,5 kg) typpeä per hehtaari. Kuviosta voidaan todeta sekä satotasojen vaihtelu, että lannoituksella saavutettava hyöty vuodesta toiseen. Lannoitettuun viljelyalaan verrattuna lannoituksen poisjättämisellä olisi saavutettu kohtuullinen satotaso joinakin vuosina kun taas joinakin vuosina sato olisi jäänyt huomattavan heikoksi.

Taulukko 2. Saavutetut satotasot vuosittain (Geotrim, 2012)



Kasvukauden aikana annettavalla lisälannoituksella on mahdollista säästää lannoitekustannuksissa, mutta samalla on mahdollista säästää myös luontoa. Taulukko 2:ssa esitetyn kuvion perusteella hyvään tai kohtalaiseen tulokseen pääsee lähes poikkeuksetta kylvön yhteydessä annetulla lannoitteella, mikä toisaalta puoltaa kylvölannoituksen suosiota. Kasvukaudella annettava lisälannoitus vaatii aina yhden ajokerran pellolla lisää ja investointia lannoituskalustoon. Suurin riski lannoituksen antamisessa kylvön yhteydessä on lannoitteiden käyttämättä jättäminen ja ravinteiden huuhtoutuminen. Riski että kasvusto ei pysty hyödyntämään kaikkea annettua lannoitetta pienenee jaetulla typpilannoituksella. Toisaalta riski että myöhemmin annettu lannoite ei päädy kasvin käytettäväksi esim. kuivuuden takia on olemassa (Geotrim, 2012).

Jaetun typpilannoituksen suosio on kuitenkin kasvamassa, osin vehnän viljelyalan lisääntymisestä, mutta osin myös työtehokkuuden kasvamisesta keväällä. Koska keväällä annettava lannoitemäärä vähenee, tarkoittaa se isompia hehtaarisavutuksia kylvökoneelle. Jaettua typpilannoitusta on Yaran Tutkimuskentillä kokeiltu kesällä 2011 ja tuloksista voidaan päätellä, että vehnän lisäksi myös kauralle ja öljykasveille voi antaa typpitäydennystä kasvukauden aikana. ”Kauralla lannoitteen jakamisella päästiin samaan satoon kuin kertalannoituksella” (Liesipuu, 2012). Öljykasveilla satotaso oli suunnilleen sama molemmilla lannoitetavoilla, mutta jaettu lannoitus laski öljypitosuutta 0,3 prosenttiyksikköä. Lannoituksen ajankohdalla on suuri merkitys, koska Suomen kasvukausi on lyhyt ja kasvusto kehittyy nopeasti. Tämän vuoksi viljat ja öljykasvit eivät saisi missään vaiheessa kärsiä ravinteidenpuutteesta. Ajoitus ja lannoitusmäärät pitää suunnitella kasvuston kunnon ja odotettavissa olevan sadon mukaan (Liesipuu, 2012).

Kasvuston kunnon ja oletetun satotason määrittämiseen on markkinoilla olemassa erilaista sensoritekniikkaa. Trimble:n GreenSeeker järjestelmä (Kuva 19) mittaa kasvuston biomassaa ja sen vihreyttä ja luo NDVI-arvon. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) arvo lasketaan vähentämällä NIR-arvo RED-arvosta, joka sitten jaetaan NIR-arvon ja RED-arvon summasta (Kuva 20). Näin NDVI-arvo on aina lukema 0 ja 1 välillä. Kaavassa NIR (Near-Infrared) kuvaa kasvuston biomassaa ja RED (punainen aallonpituus) kuvaa kasvuston vihreyttä, eli klorofyllien terveyttä. Työkoneen liikkuessa eteenpäin sensorit mittaavat kasvuston vihhermassan määrää ja vihreän värin sävyä noin 60 kertaa sekunnissa. Järjestelmä ”käskyyttää” tämän jälkeen työkonetta lannoitteen jakamiseen kasvuston tarpeiden mukaan. (Geotrim, 2012)



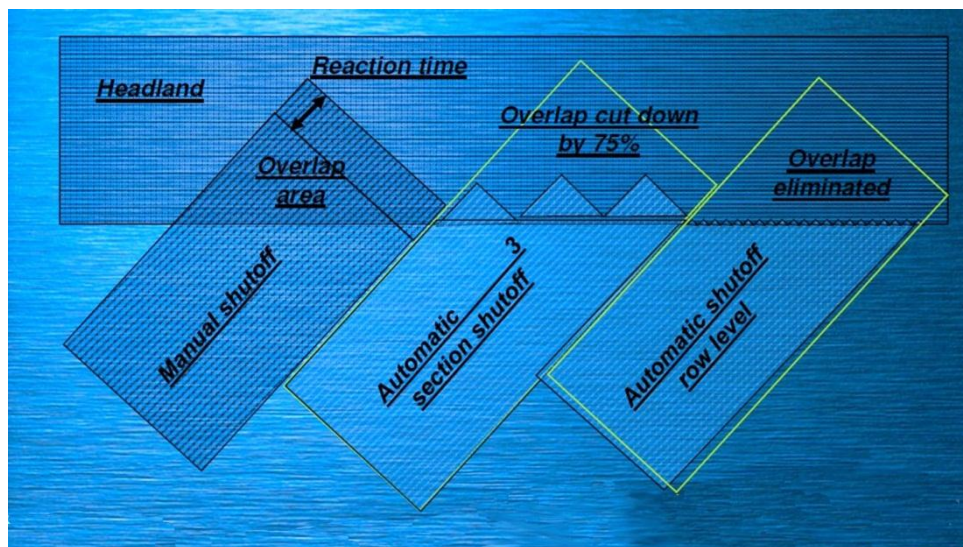
Kuva 19. GreenSeeker-järjestelmän asennus keskipakolevitintä käytettäessä (Geotrim, 2012)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Kuva 20. NDVI-mittauksen laskukaava (Geotrim, 2012)

5.1.2 Kasvinsuojeluruiskutus

Kasvinsuojeluruiskutuksissa on mahdollista ohjata ruiskun lohkoja niin, että ne sulkeutuvat automaattisesti puomin tullessa jo ruiskutetun alueen päälle. Tämän mahdollistaa paikannustekniikka, joka havainnoi työkoneen liikkeitä ja merkitsee jo ruiskutetut alueet opastimelle. Järjestelmästä on hyötyä varsinkin kiilaavissa päisteissä ja päistekäännöksissä, jolloin kasvinsuojeluaineiden menekki vähenee ja kuljettajan työ helpottuu (Kuva 21). Trimblen CFX-750 ja FmX näyttöihin on mahdollista lisätä lohkoautomaatiikka joko yhteydellä suoraan ruiskun omaan hallintalaitteeseen tai Field-iQ järjestelmän avulla (Geotrim, 2012).



Kuva 21. Lohkoautomaatiikalla saavutettava hyöty (Geotrim, 2012)

Trimble GreenSeeker järjestelmällä on myös mahdollista ruiskuttaa tautiaine kasvuston biomassan mukaan – enemmän tehoainetta sinne, missä on enemmän kasvustoa. Tällä tekniikalla saavutetaan säästöä torjunta-ainekustannuksissa, mutta myös ruiskutustyön laatu paranee, kun aineet saadaan paremmin kohdistettua oikeaan käyttötarkoitukseen (Geotrim, 2012).

Trimble WeedSeeker järjestelmällä on mahdollista havainnoida rikkakasvipesäkkeitä ajon aikana esim. sänki- tai kesantopelloilta. WeedSeeker-sensorit asennetaan kasvinsuojeluruiskun suuttimien eteen ja sensorit mittaavat lehtivihreää. Kun sensori havaitsee vihreää, järjestelmä avaa yksittäisen suuttimen, jolloin ruiskutettava aine saadaan oikeaan

kohteeseen (Kuva 22). Weedseeker-järjestelmällä on mahdollista säästää torjunta-ainekustannuksissa huomattavia määriä, mutta tarvittavasta sensorilukumäärästä johtuen järjestelmä on melko kallis (Geotrim, 2012, Pesonen et al., 2010).

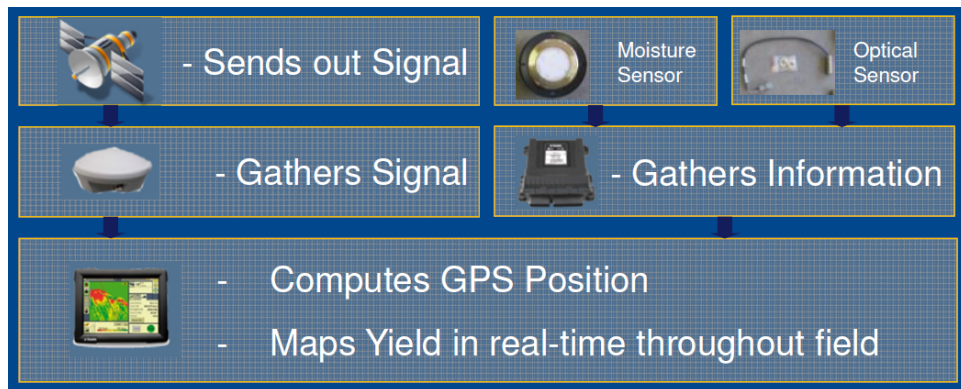


Kuva 22. WeedSeeker toimintaperiaate (Geotrim, 2012)

5.1.3 Sadonkorjuu

Paikkakohtainen tieto sadon määrästä ja laadusta on tärkeä osa täsmäviljelyä. Sadon määrällä arvioidaan koko viljelyprosessin onnistuminen, ja paikkakohtaan sidottuna nähdään pellon sisällä tapahtuva vaihtelu (Pesonen, 2010).

Sadonmittauslaitteistoja on ollut markkinoilla jo yli 15 vuotta. Trimblen satokartoitus perustuu valokennoanturiin, joka sijoitetaan puimurin viljalevaattoriin. Virtapiirin katkeamisen pituus rekisteröidään, josta päätellään viljakeon tilavuus elevaattorilla. Viljan kosteus rekisteröidään anturilla, joka sijoitetaan viljalevaattorin pohjalle. Leikkuupöydän asento rekisteröidään myös siksi, että tiedetään työskentelyvaihe. Trimble FmX näyttö kerää antureilta mittaustiedot, sekä satelliiteilta paikkatiedon, ja kokoaa reaaliaikaisesti satokarttaa pellosta (Kuva 23) (Pesonen et al., 2010, Geotrim, 2012).



Kuva 23. Satokartoituksen toimintaperiaate (Geotrim, 2012)

6 VRA -OSA TÄSMÄVILJELYÄ

Variable Rate Application tekniikkaa voidaan hyödyntää useassa eri työvaiheessa pellolla, muun muassa kylvössä, ruiskutuksessa ja lisälannoituksessa. Se, mitkä vaiheet yksittäiselle tilalle on järkevää hankkia, määräytyy pitkälti peltojen sisäisen vaihtelun syistä, maatalan kalustosta, ja viljelijän omasta halukkuudesta. Lannoite ja kasvinsuojeluaineiden säästöjen ohella hyötyä on mahdollista saavuttaa paremmalla satotasolla sekä sadon laadulla. Automaatiikan vaikutusta työn helpottamiseen ja työntekijän jaksamiseenkaan ei pidä unohtaa. Esimerkiksi työsuorituksien tarkka ja automaattinen kirjaaminen, työn laadun seuranta ja varoitukset, sekä työkoneen ohjusautomaatiikka tuovat kaikki helpotusta työntekijän arkeen (Pesonen et al., 2010, Geotrim, 2012).

Trimble Ltd:n VRA-ratkaisujen pohjalla on ajoura-opastimet (CFX-750 ja FmX) joista ohjelmistolaajennuksilla saadaan välitettyä pelkästään paikkatietoa tai myös paikkatietoon liitettyä tietoa, esimerkiksi tieto lannoitteen määrästä työkoneen ohjauspäätteelle. Ajouraopastimia voidaan hyödyntää lähes kaikissa pellolla tapahtuvissa toimenpiteissä, joten sen takia opastimen kustannus on vaikea kohdentaa yksittäiselle osa-alueelle.

Seuraavaksi on tarkoitus perehtyä lannoitteen määräämiseen kylvölannoituksen yhteydessä ja paikkakohtaisen lannoituksen tapahtumaketjuun (Geotrim, 2012).

6.1 Toteutustekniikka

Määräämiseen automaatiikkaan siirryttäessä meillä on käytettävissä kaksi perustekniikkaa: karttapohjaan perustuva ja sensoritekniikkaan perustuva järjestelmä.

Karttapohjaan perustuva järjestelmä säättää esimerkiksi lannoitetta etukäteen valmistellun elektronisen kartan perusteella. Yhdistämällä GPS-vastaanottimelta saatava paikkatieto ja kartalle ennestään tallennettu lannoitemäärä saadaan tulokseksi paikkakohtainen lannoitemäärä jaettuna koko lohkolle. Lannoitekartan tekemisessä voidaan hyödyntää eri tietoja;

maalaji, multavuus, lohkon pintamuodot, edellisen vuoden satotasot, havainnot ja ilmakuvat. Joissain ratkaisuihin käytetään vain yksittäistä tiedonlähdettä, esimerkiksi satokarttoja, kun taas toiset ratkaisut perustuvat usean eri informaation yhdistämiseen (Grisso et al., 2010).

Esimerkiksi seuraavanlainen toimintatapa olisi mahdollinen lannoitteen määräsäädön automatisoinnissa:

- Ota maanäytteet lohkoista (rekisteröi näytepisteet GPS-laitteella).
- Luo maanäyteanalyysitietojen perusteella karttapohja (esimerkiksi maalajin ja multavuuden perusteella).
- Muunna karttapohja lannoitesuunnitelmaksi.
- Käytä lannoitesuunnitelmaa hallitaksesi työlaitteen lannoitelevitystä.

Sensoriperustainen määräsäätö perustuu välittömään kasvin tarpeiden havainnointiin. Sensorit ovat suoraan kiinni työkoneessa ja havainnoivat kasvia ja välittävät tiedon välittömästi työkoneen ohjauspäätteelle ja jakavat esimerkiksi lannoitteen tämän tiedon perusteella, kuten Trimble Greenseeker-järjestelmä (Kuva 19 sivulla 20). Tämä järjestelmä ei välttämättä tarvitse sijaintitietoja toimiakseen, mutta silloin ei myöskään saada dokumentaatiota toteutuneesta levityksestä (Grisso et al., 2011).

Siirryttäessä lohko-kohtaisesta lannoitus-suunnitelmasta paikkakohtaiseen lannoitukseen on siihen oltava jokin perustavanlaatuinen syy. Täsmäviljely ja VRA-tekniikan täysi hyödyntäminen edellyttää viljelijältä suurempaa panostusta suunnitteluun ja kokonaiskuvan hahmottamiseen. Myös ympäristön huomioon ottaminen kannattavuuden kärsimättä on haasteellista, mutta tärkeää tulevaisuutta ajatellen.

Peltolohkojen maaperän ja maalajien eri ominaisuuksien tunteminen on tärkeää, ja tuloksien analysointia helpottaa, mikäli maanäytteenottopisteet saadaan paikkatietoon sidottua. Tämä palvelu on nyt jo ostettavissa tai viljelijä voi käyttää vaihtoehtoisesti omaa paikannuslaitetta, esimerkiksi Trimble Nomadia (Kuva 18 sivulla 19).

6.2 VRA-kokoonpano/laittesto

Siirryttäessä paikkakohtaiseen lannoitukseen, edellyttää se siihen kykenevää laitteistoa/työkoneita. Markkinoilla on ollut jo useamman vuoden ajan esim. kylvökoneita, joissa lannoitetta tai siemenmäärää on voinut muuttaa asteittain ajon aikana. Näin kuljettaja on voinut halutessaan vähentää tai lisätä esimerkiksi lannoitteen menekkiä manuaalisesti parhaalla katsomallaan tavalla. Tämä työvaihe pystytään nyt automatisoimaan, jolloin lannoitteen säätö tapahtuu tarkasti ja kuljettajalta lähes huomaamatta. Lannoitemäärä säätyy automaattisesti etukäteen tehdyn lannoitesuunnitelman mukaan.

Lannoitesuunnitelmaa tehdessä voidaan hyödyntää edellisvuosien satokarttoja, paikkatietoon sidottuja maaperätutkimuksia tai/ja viljelijän omaa käsitystä lannoitemäärän tarpeesta. Geotrim Oy:n jälleenmyymällä

FarmWorks Mapping -ohjelmistolla pystytään tekemään paikkakohtaisia lannoitesuunnitelmia kaikkia edellä mainittuja tekniikoita hyödyntäen. Seuraavaksi suunnitelmat siirretään työkoneeseen päätteelle, esimerkiksi ajouraopastimelle, jolta saadaan paikkatieto. Tämän jälkeen paikkatietoon sidottu tieto välitetään työkoneen ohjainyksikölle joka sitten säättää työkonetta (Kuva 24) (Geotrim, 2012).

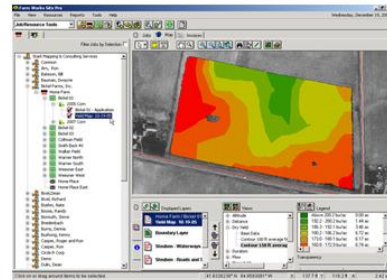
- Suunnitteluohjelmisto



- Virtual Terminal



- Määränsäätöyksikkö



Kuva 24. Esimerkki VRA-lannoiteautomaation toimintaperiaatteesta (Geotrim, 2012)

6.3 Työmäärä & riskinhallinta

Viljelijällä on vain rajattu määrä aikaa suorittaa viljelyn eri vaiheet. Varsinkin Suomessa missä kasvukausi on lyhyt, niin eri viljelytapahtumien oikea-aikaisuus on ensisijaisen tärkeää. Määränsäätöautomaatiikan käyttäminen ei lisää työmäärää itse työn aikana vaan päinvastoin, kun työlaite säätyy automaattisesti, voi kuljettaja keskittyä työn tehokkuuden parantamiseen. Suunnitteluun täytyy varsinkin ensimmäisinä vuosina varata enemmän aikaa. Työmäärään vaikuttaa myös peltolohkojen vaihtelun taso ja käytettävissä olevien tiedonlähteiden määrä. Toisaalta työmäärän lisääntyminen suunnittelussa lisää viljelijän tietämystä ja ymmärrystä eri peltolohkojensa vaihteluista. Tämä johtaa yhä parempien satotasojen saavuttamiseen (Geotrim, 2012).

Virheiden minimoiminen on kaikissa työvaiheissa tärkeää. Maanviljelyssä varsinkin tuotantopanosten väärä kohdistaminen ja käyttömäärien hallitsemattomuus saattaa vaikuttaa hyvin negatiivisesti

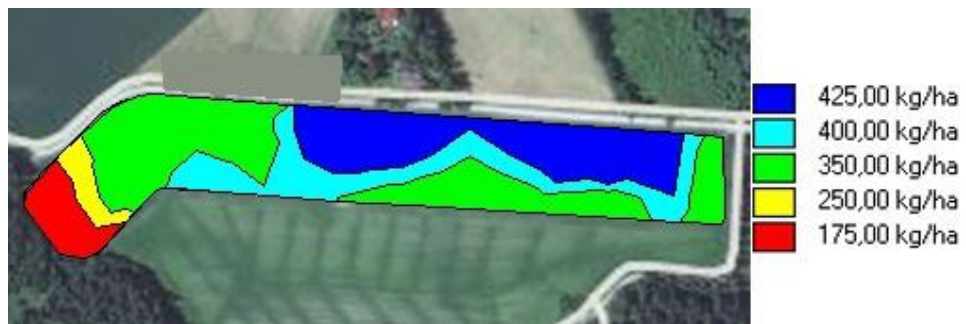
kokonaistulokseen. Kun tuotantopanosten hallinta automatisoidaan, välttään paremmin virheitä ja työn laatu paranee (Geotrim, 2012).

7 KUSTANNUSLASKENTA

Määränsäädöllä on mahdollista parantaa tilan kannattavuutta optimoimalla oikean määrän tuotantopanoksia lohkojen eri alueille. Määränsäätöautomaatiikka mahdollistaa tuotantopanosten suuremman kohdistamisen alueille, joilla on hyvä satopotentiali. Samalla heikomman satopotentialin omaavilla alueilla on tuotantopanosten määrää mahdollista vähentää (Grisso, 2011).

Esimerkiksi Englannissa paikkakohtaisella viljavuusanalyysillä ja määränsäätöautomaatiikalla suoritetulla lannoituksella on saavutettu keskimäärin 18,5 € vuotuiset hehtaarikohtaiset säästöt lannoitekuluissa. Suomessakin kyseiset säästöt olisivat tietyillä alueilla mahdollisia, mutta siihen vaikuttaa tietysti paljon lannoitteen hinta sekä vaihtelun suuruus lohkojen sisällä. (Knaapi, 2010)

Satokartoituslaitteella saa hyvän kuvan lohkon eri alueiden satotasosta ja Kuva 25:sta on kuvattu yhden lohkon lannoitesuunnitelma, joka on toteutettu satokarttatietojen sekä paikkakohtaisten viljavuusanalyysitietojen perusteella. Suunnitelmassa on otettu huomioon edellisvuosien satotasot ja lannoitesuunnitelma on tehty odotettavissa olevien satotasojen perusteella. Vaihtoehtoisesti pellon voisi lannoittaa tasalannoituksella 400 kg/ha, mutta nyt määränsäätöautomaatiikkaa hyödyntämällä lohkon keskimääräiseksi lannoitustarpeeksi jää 365 kg/ha.



Kuva 25. Esimerkki peltolohkolle tehdystä lannoitesuunnitelmasta.

Taulukko 3:ssa on tämän edellä mainitun suunnitelman perusteella laskettu mahdolliset säästöt lannoitekustannuksissa, mikäli lannoitteen hinta on 400 €/ tonni. Tämä tarkoittaa sitä, että hehtaaria kohti määränsäätöautomaatiikalla olisi mahdollista säästää 14 € vuodessa pelkissä lannoitekustannuksissa.

Taulukko 3. Esimerkkilaskelma lannoitekustannuksien säästöstä

Lannoitekustannus	0,4 €/kg
Tasalannoitus	400 kg/ha
Yhteensä	160 €/ha
Lannoitekustannus	0,4 €/kg
Lannoitus autom. määräsäädöllä	365 kg/ha
Yhteensä	146 €/ha
Erotus	14 €/ha/vuosi

Jos maatilan kaikki lohkot seuraavat suurin piirtein samaa kaavaa, voidaan tilan mahdolliset kokonaislannoitesäästöt laskea. Laskelmissa ei ole otettu huomioon mahdollisista lisäkustannuksista kylvökoneen varustamisesta lannoitteen määräsäädöllä.

Taulukko 4:ssä on laskettu mahdollinen tuotto kämmentietokoneperustaisen (Kuva 18 sivulla 19) määräsäätöautomaatiikan hyödyntämisestä. Lannoitesuunnitelma on toteutettu paikkakohtaisilla viljavuusanalyysitiedoilla. Koska käytössä ei ole satokartoituslaitteistoa, oletettava lannoitesäästö on myös hieman pienempi kuin Taulukko 3:ssa laskettu hinta. Ensimmäiseksi on laskettu määräsäädön mahdollistavan laitteiston hinta, jonka jälkeen summa on jaettu oletetulla käyttöajalla vuosissa. Oletettu maatilan peltopinta-ala on 100 hehtaaria, joten laitteiston kustannukset ovat 4,6 € hehtaaria kohti vuodessa. Tämä summa on vähennetty mahdollisista lannoitesäästöistä, joten säästöä tulee 5,4 € hehtaaria kohti vuodessa. Tämä summa kerrotaan peltopinta-alalla ja saadaan vuosittainen säästö. 100 hehtaarin peltopinta-alan omaavalla maatilalla kyseinen laitteisto maksaisi itsensä takaisin alle 6 vuodessa.

Taulukko 4. Määränsäätöautomaattikka toteutettuna kämmentietokoneella 100 ha pinta-alalla.

Kämmentietokone + tarvittavat lisävarusteet	2800 €
Tietokoneohjelmisto	900 €
Jäännösarvo	-500 €
Yhteensä	3200 €
Käyttöaika	7 vuotta
	457,1 €/vuosi
Peltopinta-ala	100 ha
Yksikkökustannus	4,6 €/ha/vuosi
Lannoitesäästö	10 €/ha/vuosi
Voitto	5,4 €/ha /vuosi
Peltopinta-ala	100 ha
Voitto	543 €/vuosi
Laitteisto maksaa itsensä takaisin alle 6 vuodessa 100 ha pinta-alalla.	

Taulukko 5:ssä määränsäätöautomaattikka on toteutettu ajouraopastimella ja lannoitesuunnitelma paikkakohtaisilla viljavuusanalyysitiedoilla. Maatilan peltopinta-ala on tässä esimerkissä 200 hehtaaria, jolloin kyseinen laitteisto maksaa itsensä takaisin alle viidessä vuodessa.

Taulukko 5. Määränsäätöautomaattikka toteutettuna ajouraopastimella 200 ha pinta-alalla.

Ajouraopastin + tarvittavat lisälaitteet	4300 €
Tietokoneohjelmisto	900 €
Kämmentietokone	1600 €
Jäännösarvo	-1000 €
Yhteensä	5800 €
 Käyttöaika	 7 vuotta
	828,6 €/vuosi
 Peltopinta-ala	 200 ha
Yksikkökustannus	4,1 €/ha/vuosi
 Lannoitesäästö	 10 €/ha/vuosi
Voitto	5,9 €/ha /vuosi
 Peltopinta-ala	 200 ha
Voitto	1171,4 €/vuosi
 Laitteisto maksaa itsensä takaisin alle 5 vuodessa 200 ha pinta-alalla.	

Taulukko 6:ssa on laitteistoon lisätty satokartoitus. Yhdistämällä satokartoitustiedot ja paikkakohtaiset viljavuusanalyysitiedot, on mahdollista tehdä tarkka lannoitesuunnitelma. Oletettu lannoitesäästö on siis suurempi kuin edellä mainituissa esimerkeissä. 200 hehtaarin peltopinta-alalla laitteisto maksaisi itsensä takaisin alle seitsemässä vuodessa.

Taulukko 6. Määränsäätöautomaattikka toteutettuna ajouraopastimella ja satokartoituksella 200 ha pinta-alalla.

Ajouraopastin + tarvittavat lisälaitteet	7500 €
Satokartoitus	2500 €
Tietokoneohjelmisto	900 €
Kämmentietokone + ohjelmisto	1600 €
Jäännösarvo	-1500 €
Yhteensä	11000 €
Käyttöaika	10 vuotta
	1100,0 €/vuosi
Peltopinta-ala	200 ha
Yksikkökustannus	5,5 €/ha/vuosi
Lannoitesäästö	14 €/ha/vuosi
Voitto	8,5 €/ha /vuosi
Peltopinta-ala	200 ha
Voitto	1700,0 €/vuosi
Laitteisto maksaa itsensä takaisin alle 7 vuodessa 200 ha pinta-alalla.	

Ajouraopastimilla toteutetuissa esimerkkilaskelmissa ei ole otettu huomioon opastimen mahdollisia muita käyttökohteita. Opastinta voidaan myös hyödyntää muissa pellolla tapahtuvissa työvaiheissa, joten sen kustannuksia olisi mahdollisuus jakaa muiden työvaiheidenkin kesken. Näin määränsäätöön liittyvä kokonaiskustannus laskisi ja takaisinmaksuaika lyhenisi entisestään. Huomionarvoista on myös se, että laitteistolla on myös mahdollista saavuttaa rahalla mittaamatonta hyötyä. Esimerkiksi ravinnehuhtoutumat pienenevät kun ylimääräistä lannoitetta ei levitetä pellolle. Myös työvaiheiden tarkka dokumentointi tulee ”kaupan päälle” ja automaattikka helpottaa kuljettajan työtä.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Pellon sisäiset maalajivaihtelut ja ravinnetaseet voivat vaihdella suurestikin. Toisissa paikoissa tuotantopanoksia, kuten lannoitetta, menee hukkaan kun taas toisissa paikoissa voi esiintyä tuotantopanosten niukkuutta. Molemmat tekijät aiheuttavat viljelijälle taloudellista menetystä. Silmämääräisesti eri alueiden sadontuottokyky on vaikea, ellei jopa mahdoton, arvioida, joten siksi tarvitaan eri mittausmenetelmiä. Täsmäviljelytekniikalla on mahdollista tunnistaa eri alueiden erot ja

suunnitella kannattavampi/tarkempi viljely vaihteluiden mukaan. Täsmäviljely voidaan sisällyttää lähes jokaiseen pellolla tapahtuvaan toimenpiteeseen. Mitkä toimenpiteet ovat kannattavia milläkin maatilalla, riippuu pitkälti sekä peltolohkojen sisältämän vaihtelun suuruudesta, että kokonaispeltopinta-alasta. Peltotapahtumien automaattinen kirjaaminen sekä kuljettajan työn helpottuminen ovat myös huomionarvoisia asioita siirryttäessä täsmäviljelyyn.

Koska kaikki toiminta täsmäviljelyssä ja VRA-tekniikassa perustuu paikkatietoon, on ymmärrettävä sekä paikkatieto- että satelliittitekniikkaa. Mikäli sijaintia pellolla ei tiedetä, ei täsmäviljelykalustostakaan ole mitään hyötyä. Paikkatietotekniikka on kehittynyt voimakkaasti viime vuosina, ja maataloussovelluksien hinta sekä käytettävyys ovat jo hyvällä hinta/laatu-tasolla. Laitteiden ja sovelluksien täysi hyödynnettävyys edellyttää viljelijältä uutta näkemystä sekä asennoitumista omaan työhönsä. Nykyinen/tuleva sukupolvi on jo tottunut siihen, että tietotekniikka on osana jokapäiväistä arkea, joten tietotekniikan omaksumisesta osaksi viljelijän arkea ei pitäisi muodostua ongelmia.

Lannoitteen määränsäätöautomaatiikalla pystytään, pellon vaihteluiden suuruudesta riippuen, säästämään lannoitekustannuksissa vuosittain kohtuullisia summia. Englannissa on keskiarvolta päästy 18,5 € hehtaarikohtaisiin lannoitesäästöihin paikkakohtaisilla viljavuusnäytteillä sekä määränsäätöautomaatiikalla (Knaapi, 2010). Suomessakin on teoriassa mahdollista päästä lähelle samoja lukuja, Kuva 25:ssä sivulla 26 tehdyllä lannoitesuunnitelmalla säästäisi 14 € hehtaarilta verrattuna tasalannoitukseen. Määränsäätöautomaatiikan toteuttaminen onnistuu halvimmillaan noin 3000 € investoinnilla. 100 hehtaarin peltopinta-alalla laitteiston takaisinmaksu kestäisi noin 6 vuotta, laskettuna pelkillä lannoitekustannuksien säästöillä. Vaikutusta satotasoon sekä laatuun ei ole otettu huomioon. Kun järjestelmään lisätään satokartoitus, nousee kokonaislaitteiston hinta yli 10 000 euroon. Saavutettava lannoitesäästö on suurempi, koska suunnitelmat ovat tarkempia. 200 hehtaarin peltopinta-alalla takaisinmaksu kestäisi lähes 7 vuotta. Järjestelmän pohjalla toimii kuitenkin ajouraopastin, jota voidaan hyödyntää muissakin maatalan peltotoissa. Tämä merkitsee sitä, että jos maatilalla on jo ennestään hankittu opastin esimerkiksi ruiskutusta varten, tarvittavien määränsäädön lisävarusteiden hankintaan käytettävä pääoma on jo huomattavasti pienempi.

Ympäristön huomioon ottaminen luo haasteita suomalaiselle viljelijälle. Ravinteiden huuhtoutuminen vesistöihin ja siitä johtuva vesistöjen rehevöityminen on saatu pienentymään, mutta parantamista on edelleen, esimerkiksi jopa 60 – 70 % fosforin huuhtoutumisesta vesistöihin tapahtuu maanviljelyn seurauksena (Saavalainen, 2012). Määränsäätöautomaatiikalla ja täsmäviljelyllä on mahdollista saada ravinnehuuhtoutuma-lukemat vielä pienemmiksi. Kun lohkon joka osa-alueen sadontuottokyky sekä ravinnetaseet tiedetään tarkasti, ei ylimääräistä lannoitusta tapahdu ja ravinnehuuhtoutumia ei pääse syntymään.

Euroopassa, esimerkiksi Englannissa ja Saksassa, on täsmäviljelyn palvelun tuottamiseen erikoistuneita yrityksiä. Siinä viljelijän ei itse tarvitse tehdä esimerkiksi lannoitesuunnitelmaa, vaan hän saa sen palveluntarjoajalta. Palveluntarjoaja ottaa viljelijän pelloilta paikkakohtaiset maanäytteet, analysoi ne, ottaa huomioon viljelijän omat mahdolliset satokartat ja luo näiden perusteella lannoitesuunnitelman. Viljelijä saa suunnitelmat omaan käyttöön esimerkiksi muistitikulla ja lataa ne suoraan työkoneellensa. Näin viljelijä pystyy aloittamaan työnteon hyvinkin pian. Tällaisen toimintamallin kehittyminen myös Suomen oloihin olisi täysin mahdollista ja suotavaa, mutta se vaatisi maatalouden toimijoilta ja päättäjiltä tiukkaa otetta täsmäviljelystä sekä sen kehittämisestä Suomen olosuhteisiin.

LÄHTEET

- Airos, E., Korhonen, R. & Pulkkinen, T. 2007. Satelliittipaikannusjärjestelmät. [Verkkojulkaisu]. Riihimäki: Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos.
- Carlgren, K. & Mattsson, L. 2001. Swedish soil fertility experiments. Acta Agr. Scand., B, Soil and Plant Science 51
- Enterprise & Industry magazine. 2012. Galileo is right on track. [Verkkojulkaisu]. European Union.
- ESA Portal – Finland. 2011. Eurooppa valmistautuu kahden Galileo-satelliitin laukaisuun lokakuussa. [Verkkojulkaisu].
- Geotrim Oy. 2012. Koulutusohjelma.
- Grisso, R., Alley, M., Tohmason, W., Holshouser, D. & Roberson, G. 2011. Precision Farming Tools: Variable-Rate Application. Virginia Co-operative Extension 442 – 505
- Heinonen, R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A. & Kemppainen, E. 1992. Maa, viljely ja ympäristö. WSOY
- Hietala-Koivu, R. 2002. Landscape and modernizing agriculture: a case study of three areas in Finland in 1954-1998. Agriculture, Ecosystems & Environment 91
- Hokka, T. 2011. Paikkatiedon perusteet - luennot.
- Knaapi, J. 2010. Lähes viidennes Iso-Britannian peltopinta-alasta täsmälannoitetaan. Koneviesti.
- Liesipuu, J. 2012. Lannoituksen jakaminen öljykasveilla ja kauralla. Yara Suomi Oy
- Miettinen, S. 2002. GPS Käsikirja. Karisto.
- Pesonen, L., Kaivosoja, J. & Suomi, P. 2010. Täsmäviljely ja ravinteiden käytön tarkentamien. Teho-hankkeen julkaisuja 5/2010.
- Saarela, I. 2002. Studies on phosphorus in Finnish soils in the 1900s with particular reference to the acid ammonium acetate soil test. Agricultural and Food Science in Finland, 11
- Saavalainen, H. 2012. Fosforin kierrätys ontuu. Helsingin Sanomat 7.5.2012

